

土と岩

2000
No. 48

特集：「中部圏のビッグプロジェクト」

中部地質調査業協会

目次

1	巻頭言	中部地質調査業協会 理事長 橋井 智毅	1
2	特集 中部圏のビッグプロジェクト		
	●中部国際空港の建設について	中部国際空港株式会社 企画部空港計画課 課長 細川 泰廣	2
	●第二名神高速道路における橋梁建設への取り組み 「JH四日市(工)木曾川橋・揖斐川橋他」	日本道路公団名古屋建設局 四日市工事事務所 所長 小松 秀樹	11
	●東海環状自動車道の事業状況	建設省中部地方建設局 岐阜国道工事事務所 所長 所 輝雄	20
3	技術論文		
	●土中の溶質移動に関する可動・ 不動水モデルの適用とパラメータ評価	佐藤 健 他	28
	●学校教育における原位置試験への取り組み —スウェーデン式サウンディング自動貫入試験機の利用—	吉村 優治	36
	●比抵抗映像法による二次元電気探査の実例	安藤 貴史	42
	●愛知県西部の耐震基盤層に関する1考察	内園 立男 他	48
	●切羽前方地山の評価について —切羽前方探査(TSP・トンネルHSP)実施事例—	鈴木 雅博	52
	●兵庫県南部地震における埋立地内の液化化現象	塚本 登士 他	58
	●矢田川累層と高根山撓曲	高取 亮一 他	64
	●溶結凝灰岩における膨潤特性について	永井 秀明 他	68
4	技術ノート		
	●地下水中のフッ素・ホウ素について	柴田 秀道	72
	●長良川・杭瀬川堤防詳細点検の現場体験談	上野 英樹	75
	●超音波の地盤工学的利用について	西堀 高弘	78
5	平成11年度技術研修会参加報告		
	●平成11年度技術研修会を終えて	藤井 紀之	82
	●研修会参加記(ダムに関して)	楠本 和彦	84
	●技術研修会に参加して(第四紀火山の地質)	舟橋 嘉浩	86
	●技術研修会に参加して(飛騨トンネル)	栗本 貴生	89
6	コーヒーと水	今井 勇	92
7	「土と岩」47号 読者アンケート結果	中村 俊彦	96
8	会員名簿		98
9	編集後記	広報宣伝委員会	100

巻 頭 言



中部地質調査業協会

理事長 橋 井 智 毅

バブル崩壊による今回の平成の大不況も「ようやく底を打った!」との観測が、幾度か新聞紙上を賑わせましたが、実感として景気浮揚が感じられるところまではいかず、私共の地質調査業界もご多分に漏れず厳しい対応

を迫られる今日、この頃であります。

しかし、中部地区は本号にも取り上げましたように、第二東名・名神高速道路、中部新国際空港、万国博覧会と言ったビッグプロジェクトが進行中で、終盤に入ったとはいえ東海・北陸自動車道、東海環状道路等の基盤整備事業も佳境を迎えており、公共事業による投資額は地建単位で北海道、関東、近畿に次いで多く、総事業量は全国的に見ても5位以内にランクされるものと思われます。

これらのビッグプロジェクトについては、協会として「必要且つ十分な調査を行うことにより手戻りが減り、結果として総工事費は低減できる」と、調査の必要性を各発注機関に対し提言して参りまして、ご理解を得てきているものと認識しております。

折しも、千葉市の下水道発注に関し、公正取引委員会により292社にも及ぶ過去最多の会社に対して排除勧告が発せられ、99%の会社が応諾せざるを得ない状況という未曾有の不祥事を惹起してしまいました。ただでさえ冷え込みがちなところを、ますます低落傾向に拍車を掛けるような事態といえます。

20世紀も余すところあと1年弱。旧態然とした業界体質を変えるのは今がチャンスかも知れません。「発注形態が今のままでは・・・」等の意見は確かに有りますが、他力本願で待っていても、進展は望めないと思われます。業界全体で技術力のアップを計るとともに経費の削減に最大の努力を払い、競争社会に生き残れるよう、更なる体質改善を計っていきましょう。

棋聖・米長邦夫の「21世紀の次なる1手」という講演を聴く機会が有りましたが、その例を出すまでもなく、20世紀の古い体質を脱ぎ捨て、優しさと誇りに満ちた毅然たる心をもって体制を再構築し、新たなる21世紀を迎えようでは有りませんか。

中部国際空港の建設について

中部国際空港株式会社

企画部空港計画課 課長 細川 泰廣

1. はじめに

中部国際空港(株)は平成10年5月1日に設立され平成10年7月1日には、運輸大臣から「中部国際空港等の設置及び管理する者」として指定を受け、本格的な業務を開始した。平成11年7月には環境影響評価書の公告、8月には漁業関係者の理解を得て飛行場設置許可の申請及び公有水面埋立の出願を終え、今後これらの手続きが完了した後、平成11年度内に護岸工事に着手することとしている。

当社は、国・地方自治体・民間と様々な出身母体から人材が集まっており、誰もが共通の認識を持って空港建設に取り組めるよう下記の基本理念を掲げている。

- ① 世界の最新技術と知識を結集し、21世紀にふさわしい、利便性・経済性に優れた競争力のある国際ハブ空港づくりに努める。
- ② 「お客様第一」を旨とし、魅力あるサービスの提供を通じて21世紀の国内外の航空ネットワーク発展に寄与する。
- ③ 地域に根づいた企業として、環境への配慮に努め、豊かな地域社会づくりに貢献する。
- ④ 「オープンでフェア」を企業行動の基本とし、社会から信頼される企業市民となる。
- ⑤ 効率的な事業運営に努め、健全経営を実現する。
- ⑥ 人材育成に努め、自由闊達で風通しの良い企業風土を確立し、企業の活力を最大限に発揮する。



2. 計画の概要

(1) 空港計画

位 置：名古屋の南約35kmの伊勢湾東部
(常滑沖) の海上

アクセス：名古屋都心から30～40分程度
60km圏の主要都市から概ね1時間

空港計画

面 積：空港敷地470ha

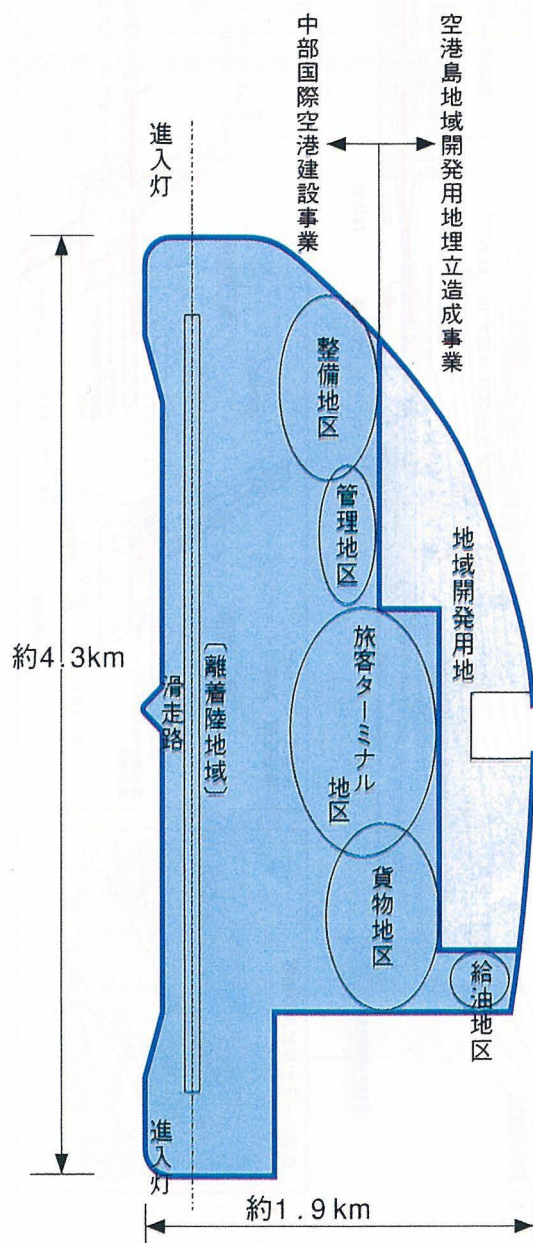
滑走路長さ：3,500m

完成予定期限：平成17年（西暦2005年）

運用時間：時間制限を設けない。

事業費：7680億円

■空港用地の形状及びターミナル地域の地区配置



■空港島及び空港対岸部開発用地の位置図

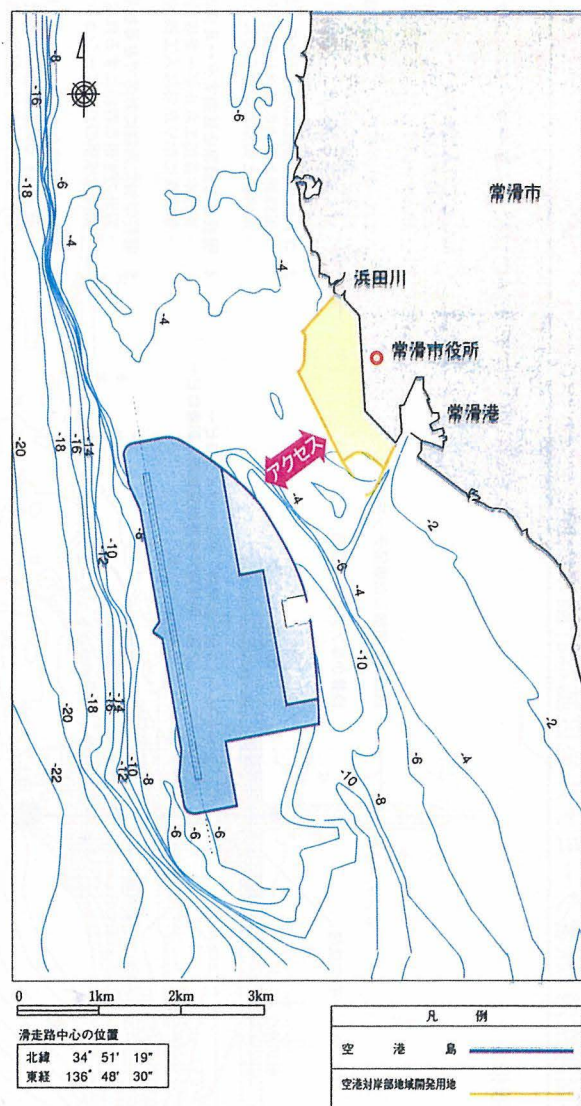


図-1 空港計画の概要

中部国際空港 旅客ターミナル地区基本計画の概要

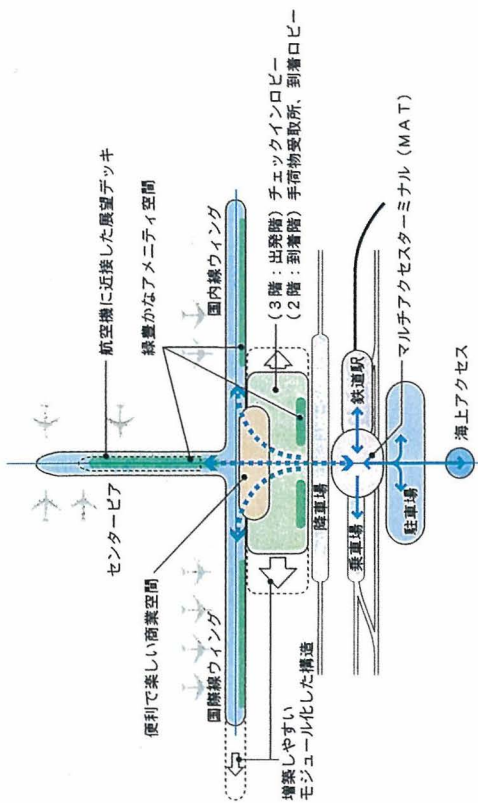
中部国際空港株式会社

■ 施設構成

■ 計画の特徴 ユーザーフレンドリーでシンブルなターミナル

- 1 はじめての人にもわかりやすいターミナル
 - ・ 目的場所がわかりやすく方向性が明確なレイアウト
 - ・ 旅客ターミナルビルとアクセス交通をわかりやすく結ぶ「マルチアクセスターミナル (MAT)」
- 2 ユニバーサルデザイン^{*}による誰もが使いやすいターミナル
 - ・ 出発・到着の二層構成にすることで、階層移動を最小限にした旅客ターミナルビル
 - ・ MATから航空機までの動線をスロープで結び直線的でスムーズな歩行空間を実現
- 3 コンパクトな構成の効率的ターミナル
 - ・ 国際線と国内線の乗り継ぎが便利な一体構成の旅客ターミナルビル
 - ・ 国内線と国際線のどちらにも利用できる効率的なスポット運用を可能にする「スイングゲート」
- 4 環境との調和を目指すターミナル
 - ・ 資源や自然エネルギーを有効に利用した建築・設備計画
 - ・ 無機質になりがちな人工構造物内の緑豊かな自然空間の創出
- 5 需要増加に柔軟に対応できる拡張性の高いターミナル
 - ・ 将来の拡張を容易にする旅客ターミナルのモジュール化
 - ・ 様々な拡張のバリエーションを考慮した柔軟なコンセプト
- 6 経済的で集客力のあるターミナル
 - ・ 離着陸する航空機を間近に見られる展望施設や魅力ある商業施設の配置
 - ・ 自動車乗降場の地上配置、地下階のない建築計画など様々な工夫による建築コストの削減

※ ユニバーサルデザイン：バリアフリーを一步進め「年齢や障害の有無に関わらずすべての人に使いやすいもの」という欧米で主流になってきたデザインの考え方



■ 旅客動線

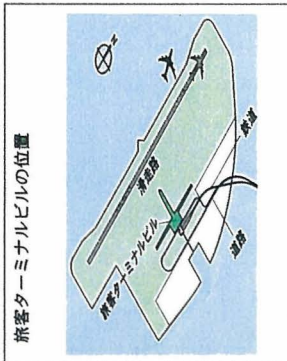
海上アクセス

マルチアクセスターミナル (MAT)

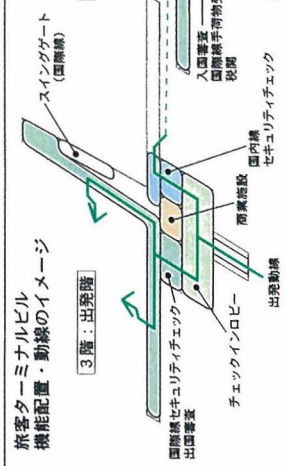
旅客ターミナルビル



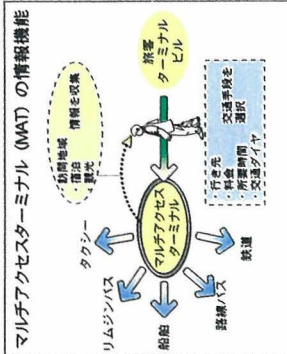
旅客ターミナルビル 機能配置・動線のイメージ



旅客ターミナルビル 機能配置・動線のイメージ



マルチアクセスターミナル (MAT) の情報機能

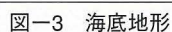


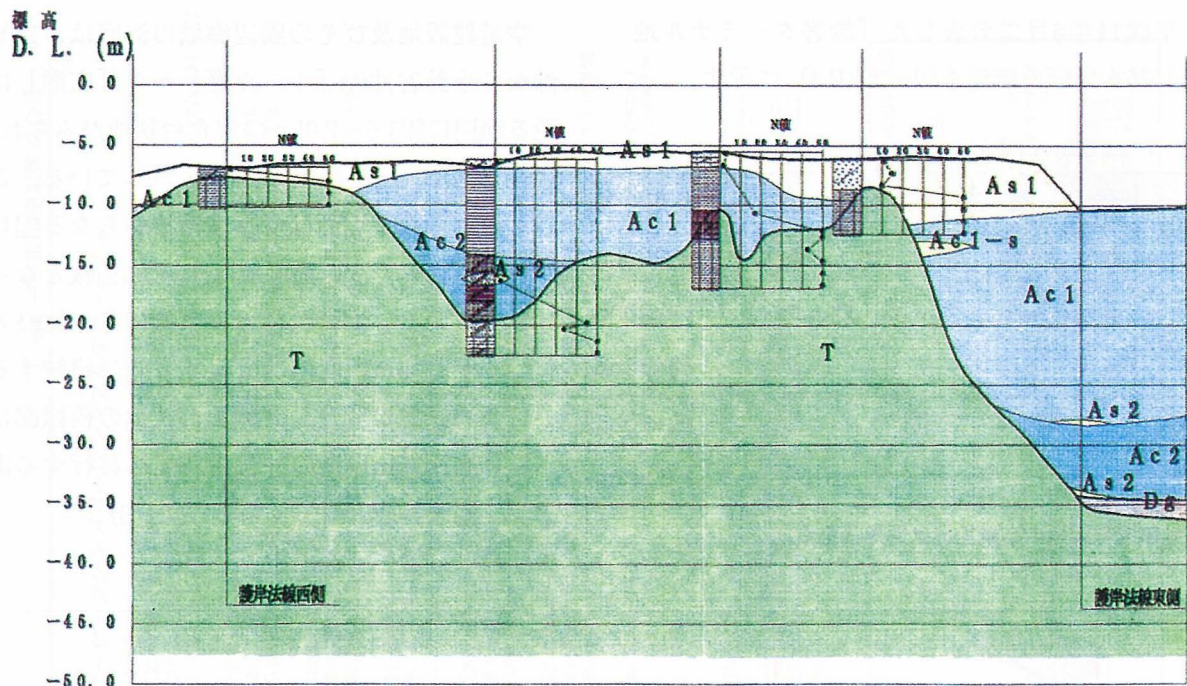
平成11年6月に公表した「旅客ターミナル地区」基本計画の概要を図-2（P.4）に示す。

空 港	滑 走 路 長 及 び 本 数	3,500m 1本
	離 着 陸 地 域	約250ha
	タ ー ミ ナ ル 地 域	約220ha
	合 計	約470ha
地 域 開 発		約110ha
空 港 島 合 計		約580ha

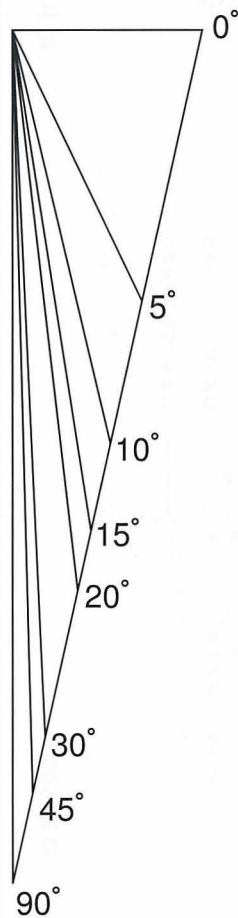
3. 空港建設地の地形・地質

空港建設地及びその周辺海域の海底は、鬼崎沖から小鈴谷沖の「トーガ瀬」から「広瀬」に至る範囲に幅1.5～2.0kmの海食台状地がみられ、水深7m前後の平坦面を形成している。これらの平坦面は所々堆積物からなる起伏を含み、浅い箇所では水深3m前後となっている。海食台状地の東側には、比高差が3～5m程度のほぼ南北方向に連続する海底谷が発達し、海食台状地の西縁部は水深15m以深の沖合緩斜面へ移行する海底急斜面となっている（図-3）。





[見かけの傾斜]



〈地質層序表〉

地質年代		地 層 名	層 相	記号	N 値	平均N値	記 事	
第四紀	完新世	沖積層	上部砂質土層	細～粗砂、一部で礫混り	As1	0～33	7	礫、シルトを混入する細～粗砂からなる。暗黄灰、暗灰～暗青灰色を呈し、締まり具合はルーズである。
			上部粘性土層	粘土～砂質シルト	Ac1	0～4.7	0.8	軟弱な粘性土からなり、最大層厚26mに及ぶ。計画予定地を南北方向に横断する埋積谷に分布する。
			砂 質 土 層	細～中砂、シルト質細砂	Ac1-a	0～20	8.9	Ac1層中に狭存する地層で、最大でも5m程度の層厚である。締まり具合はルーズである。
	下部粘性土層		シルト質細砂、一部礫混り	Ac2	1～16	6.9	沖積層基底部付近に分布しており、As2層と互層状を呈する。層中に砂質土の薄層を挟み不均質である。	
	下部砂質土層		シルト質細砂、一部礫混り	As2	1～45	14.7	Ag層とともに沖積層の基底を構成しており、Ac1層と互層状を呈する。	
	砂 礫 層		砂礫、一部礫混り砂	Ag	6.6～30	15.7	礫は、φ=2～60mmの亜円礫が主体。マトリックスは、シルト、粘土、腐植土が混入する不均質な砂からなる。	
	更新世	洪積層	粘性土層	砂混じりシルト	Dc	—	—	最北部に薄層状を呈し分布している。有機質を伴う不均質なシルトからなる。
			砂 質 土 層	礫混じり砂	Da	34～38	35.7	最北部に薄層状を呈し分布している。礫が混入する粗砂からなり、締まっている。
			砂 礫 層	砂礫	Dg	3.4～180	53	礫は、φ=2～30mmの亜円～亜角礫が主体。マトリックスは、細～粗砂からなる。よく締まっている。
	新第三紀	鮮新世	東海層群 常滑累層	固縮シルト～砂質土 (Tc～Ts) (弱風化帯 To)	Tc 2.5～300	93.3	シルト混じり～シルト質細砂、固縮シルトからなる。一部弱風化帯もみられるが、概ねN値50以上を示しよく締まっている。	
T Ts 17～257.1				93	D.L.-8m前後の海食台状地形を形成する反面、D.L.-43mを谷底とする開析谷地形が発達しており、調査地内で層上面が急変している。			

図-4 地質推定断面図

この海食台状地は、薄く沖積層が覆うものの、主に東海層群常滑累層によりなっている。

東海層群常滑累層は、新第三紀鮮新世に形成された地層で、N値は50以上、層厚は400m以上とも700mとも言われ極めて厚い層厚を有し、良好な支持層となる。

図-4 (P.6) に空港島標点付近の地質推定断面図を示す。固結シルト層 (Tc) と砂質土層 (Ts) の互層からなる常滑累層 (T) を基盤として、その上位を洪積層 (D) ・沖積層 (A) が覆っている。洪積層は砂礫層 (Dg) からなり、沖積層は上部：砂質土層 (As1)、中部：粘性土層 (Ac1)、下部：砂質土層 (As2) と粘性土層 (Ac2) の互層という地質層序を呈している。

また、伊勢湾には南北に走る伊勢湾断層と内海断層、湾岸中央部を東西に走る白子一野間断層がある。いずれも垂直成分平均変位速度0.28～0.46m／千年の範囲で、数千年おきに活動を繰り返すB級の活断層に分類される。

4. 空港用地造成工事の概要について

こうした良好な地盤の上に建設される中部国際空港の用地造成工事は、伊勢湾で初めて大規模な用地造成を短期間で行う工事であり、活発な水産活動や海上交通などの周辺環境と調和を図りながら進める必要がある。また、競争力のある空港とするため、埋立土砂の一部に公共工事で発生する浚渫土を有効に活用し、コスト削減と環境保全の両立に努めるなどの工夫を図っている。

空港島は中部国際空港(株)が造成する「空港用地」と愛知県企業庁が造成する「地域開発用地」からなり、それぞれが協力、支援し工事を進め

ることが必要不可欠である。ここでは当社が事業主体となる「空港用地」を中心に、その用地造成工事の基本的な進め方、工事を進めるにあたってのポイントを説明する。

(1) 工事工程

空港島の用地造成工事は表-2に示すとおり、護岸工事着手後4年程度で完成させることとしている。工事用の開口部を残し、護岸等によって埋立海域が囲まれた後、1年次の後半から埋立工事を行い、3年次の前半には完了したところから順次、旅客ターミナルビル等の施設建設を開始し、6年次の前半に開港することとしている。なお、作業は1年を通じて行い、一部夜間・休日に行うことも想定している。

(2) 護岸等工事

護岸は海域環境に配慮した捨石式傾斜堤護岸を主に採用する。空港用地の傾斜堤護岸には、消波ブロック等を前面に配置し、消波機能を高めるとともに耐波性を向上させた構造とする。

空港島南側の供給処理施設用地には、タンカー等の係留のためケーソン式岸壁を設置する。

なお、空港島建設中に資機材荷揚場として利用する一部の護岸はケーソン式の岸壁構造とし、工事終了後には前面に捨石、消波ブロックを設置し傾斜堤護岸にすることとしている。

(3) 埋立工事

埋め立てに必要な土砂は空港用地で約5,600万m³であり、主として山土と浚渫土を用いて埋立を行うこととしている。







山土による埋立については、土運船により直接投入する方法、揚土船により直接揚土する方法及び揚土した土をダンプトラック等で運搬し間接揚土する方法を組み合わせで行う。

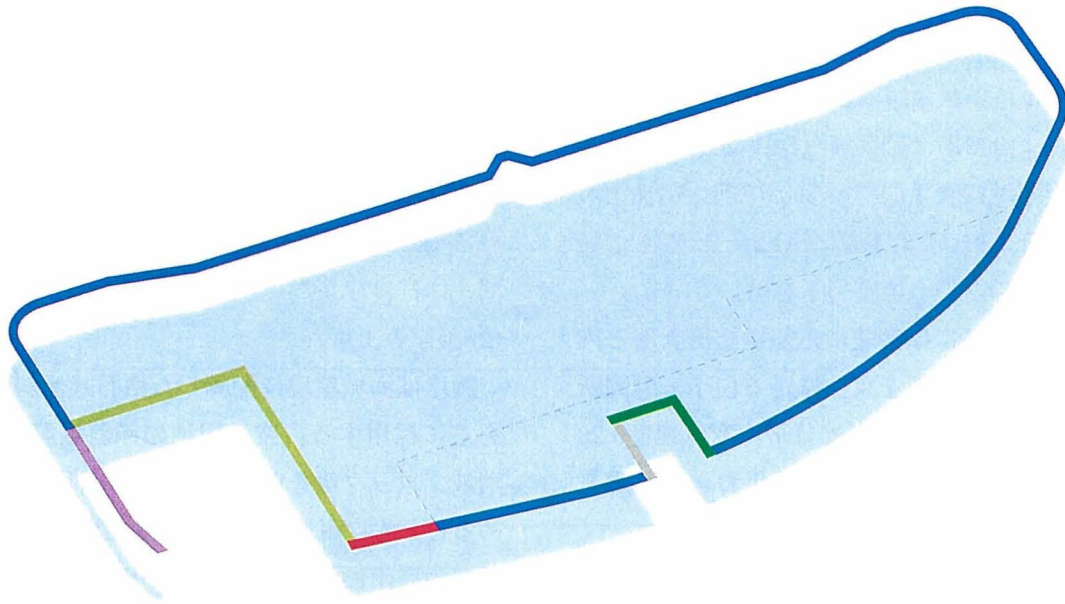
浚渫土については、護岸を締め切った後に埋め立てることとしており、埋立地の地盤強度を確保するためセメントを加えて改良し、圧送船を用いて海上輸送管で打設船に圧送し埋め立てることを想定している。

表-2 工事工程

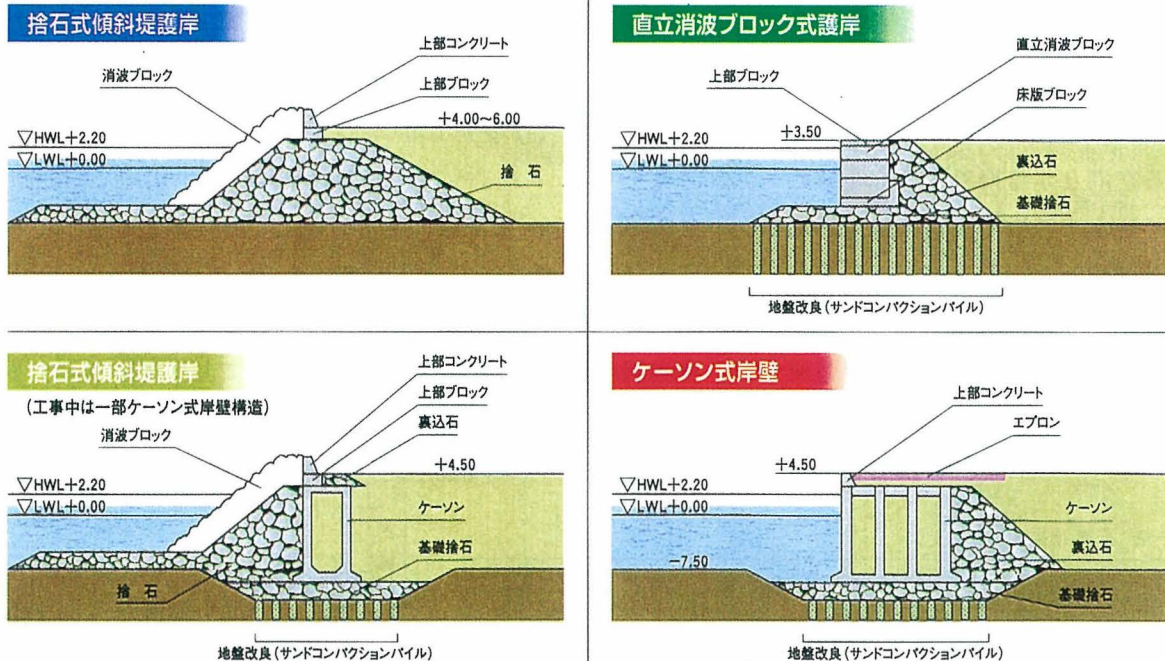
		1年次	2年次	3年次	4年次	5年次	6年次
用地造成	護岸工事						
	埋立工事						
施設建設工事等							

■ 空港島の護岸等の配置

- | | |
|---|---|
|  捨石式傾斜堤護岸 |  捨石式傾斜堤護岸(工事中は一部ケーソン式岸壁構造) |
|  直立消波ブロック式護岸 |  L型岸壁・護岸 |
|  ケーソン式岸壁 |  波除堤(仮設捨石式傾斜堤構造) |



護岸等の代表的な標準断面



図一5 護岸工事の概要

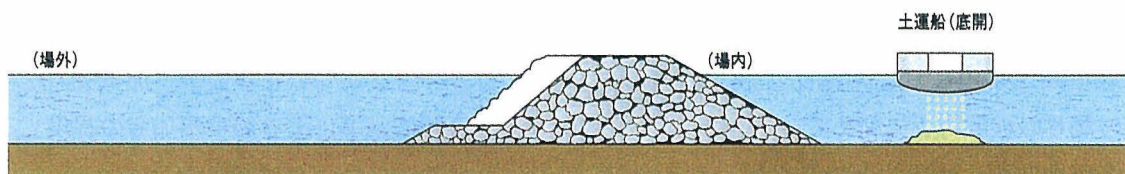
◎埋立は山土・浚渫土等を用いて行います。

◎空港用地北側に使用する浚渫土はセメントにより改良を行います。

◎埋立土は土運船・ガット船により海上輸送します。

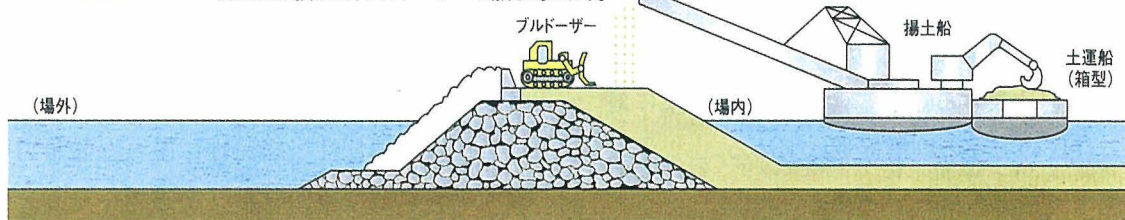
直接投入

・土運船により埋立土を運搬し、埋立地内に直接投入します。



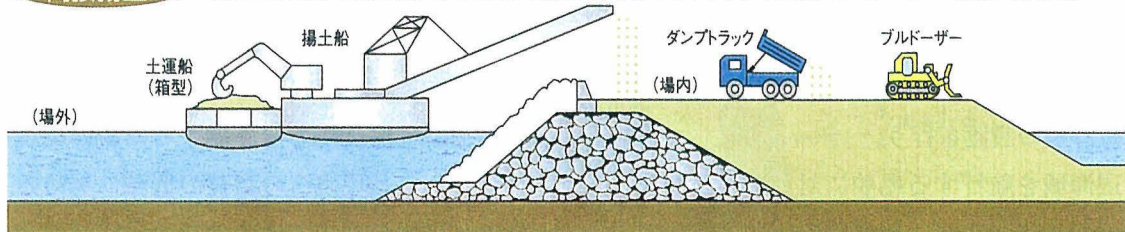
直接揚土

・水深が浅くなり、土運船による直接投入ができなくなると、ベルトコンベアを搭載した揚土船により埋立土を投入し、ブルドーザーで敷き均します。



間接揚土

・護岸の外側から揚土船により埋立土を陸上げし、ダンプトラックで運搬しブルドーザーで敷き均します。



改良浚渫土の場合

・圧送船を使用し、埋立土を排砂管を通して圧送し埋立を行います。
埋立地の地盤強度を確保するため、埋立土にセメントを添加し改良を行います。

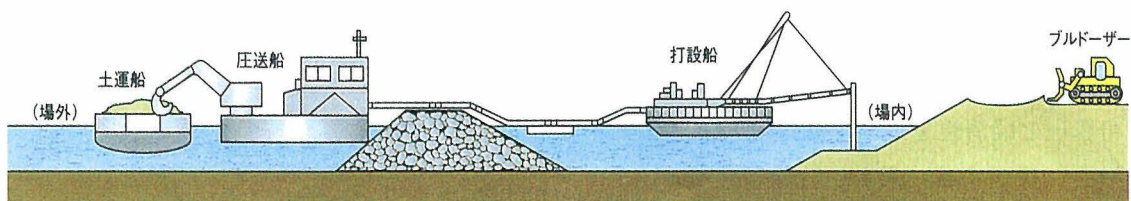


図-6 埋立工事の施工例

埋立順序は概ね空港用地東側から西側に向かって進めることとしており、埋立が完了した区域から空港諸施設を整備していくこととしている。

(4) 工事中の主な環境保全措置と安全対策

工事を進めるにあたっては、以下のように周辺環境の保全と工事の安全確保に努める。

○工事中の環境保全措置

- ・埋立工事による水の濁りの拡散を抑制するため、工事用の開口部を残し、護岸等によって埋立海域が囲まれた後、埋立土砂を投入する。
- ・用地造成工事中には、汚濁防止膜を設置し、水の濁りの拡散防止に努める。
- ・空港用地北側に使用する浚渫土は、セメントによる改良を行った後、護岸等で締め切った区域の内側へ投入し、余水をpH調整した後、余水吐から排出する。
- ・環境監視（環境モニタリング）を実施し、その結果を公表することにより、空港事業に対する住民の方々の理解促進に努める。

○工事中の安全対策

- ・「無事故」「無災害」を目標とし、工事関係者へのきめ細かな安全衛生教育活動等を通じて、工事関係者の安全意識高揚に努める。
- ・周辺海域を航行する船舶の安全確保のため、航行安全センターの設置や工事区域を標示する灯浮標の設置を行う。
- ・周辺海域を航行する船舶に対して、工事実施場所の案内、内容、期間等の広報を十分に行い、周知に努める。

5. 調達方針・情報発信

(1) 調達の基本方針

当社では、「オープン＆フェア」を基本方針に競争原理と経済性を追求するためVE提案などを積極的に採用する。また、公募型競争の導入を促進し、国内企業に限らず、広く海外企業にも競争参加の機会を提供する。

競争参加者の選定にあたっては、業務実績、

技術的能力等の客観的基準により選定する。

取引を行うにあたっては、MPA「大型公共事業への参入機会等に関する我が国政府の追加的措置について（1991年7月閣議了解）」の手続きに則り対応する。

調達情報については、ホームページ（<http://www.cjiac.co.jp>）等により広くお知らせしている。

■調達の基本方針

- ① 競争原理と経済性の追求
- ② オープンかつ公正な競争参加機会の提供
- ③ 客観的基準による競争参加者の提供
- ④ 契約先の公正な選定
- ⑤ 法令等の遵守
- ⑥ 情報公開の原則

6. おわりに

当社は、利便性・経済性に優れた競争力のある「世界に冠たる国際ハブ空港づくり」を目指している。そのため、健全で効率的な企業経営と、お客様の多種多様なニーズを満たす魅力あるサービスの提供を心がけ、お客様にご満足いただけるユーザーフレンドリーな空港づくりをする。

さらに、藻場造成、国際規格ISO14001の認証取得、環境保全に万全を期するための環境モニタリングなど環境への負荷の低減に努めるとともに、地域の文化・産業の情報発信基地として豊かな地域社会づくりへ貢献していくこととしている。

第二名神高速道路における橋梁建設への取り組み 「JH四日市(工)木曾川橋・揖斐川橋他」

日本道路公団名古屋建設局

四日市工事事務所 所長 小松 秀樹

1. はじめに

第二東名・名神高速道路は、東京から中部圏を經由して神戸に至る総延長約500kmの21世紀の根幹をなすスーパーハイウェイである。現在の東名・名神高速道路の渋滞を緩和し適切な交通分担を行い、定時性・走行性さらには快適性を確保し、高度なサービスを提供また緊急時の迂回路としてのリダンダンシーを確保しようとするものである。

中部圏においても、静岡・愛知・三重地域の整備が精力的に進められている。特に東名の豊田ジャンクション～東名阪の四日市ジャンクション間については、全国でも緊急整備の要請が強く、優先的に整備が進められている区間の一つである。

これらの建設を進めていくうえで、コスト削減・工期短縮・省力化・品質向上・環境への配慮等様々な課題が求められている。

三重県内の北東区間を所掌する四日市工事事務所においても、様々な新技術・新工法を採用、課題の達成に取り組んでいる。

2. 橋梁建設における新技術・新工法の取組み

事務所管内で、工事最盛期を迎えている愛知・三重県境から東名阪自動車道にタッチする四日市ジャンクション間は、伊勢湾に注ぐ木曾三川等の河口部を通過後、国道23号・国道1号・近鉄本線・JR関西本線等と交差する市街地部を通過、その約9割が橋梁構造である(図-1)。

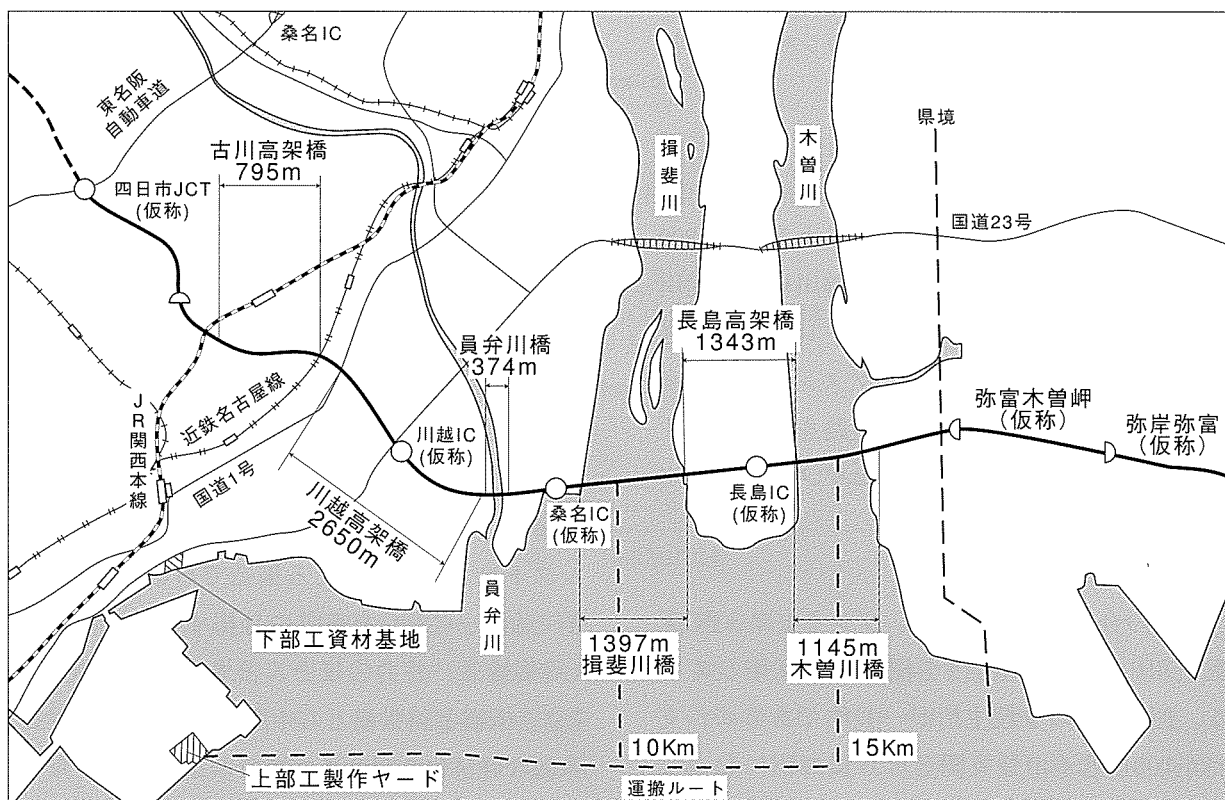


図-1 橋梁位置図

2-1 基礎構造

支持地盤は、木曽川・揖斐川の河口部付近の40～50mから、四日市ジャンクション部の丘陵部にかけて徐々に浅くなり、この付近ではほぼ直接基礎となっている。

基礎工としては、鋼管杭およびベント杭が主体で、河川部の木曽川橋・揖斐川橋等では鋼管矢板井筒基礎を採用している。

また、員弁川橋では水面下約43mの大深度ニューマチックケーソン基礎を採用している。ここでは、最大作業気圧が4.3気圧になることから、高気圧障害の防止および作業効率の向上を目的に、ヘリウム混合ガスを併用した陸上からの遠隔操作による無人化掘削を実施した。木曽川・揖斐川・員弁川の河川内下部工工事は、1997年の秋からの一渇水期での立ち上げを完了し、上部工に引き次いでいる。

2-2 上部構造

上部工については、鋼とコンクリートの複合化、プレキャスト化、鋼橋のPCプレキャスト床版を用いた少数桁化等による合理化・省力化・コスト縮減を図っている。

(1) 複 合 化

木曽川橋・揖斐川橋で、鋼とコンクリート複合橋を採用している。

(2) プレキャストセグメント工法

プレキャストセグメント工法については、①埠頭ヤードでの製作・海上輸送による400～300トンクラスのセグメントを、木曽川橋・揖斐川橋で、②本線脇のヤード製作、トレーラー輸送による80～60トンクラスのセグメントを長島高架橋・川越高架橋で、③一般道路を輸送架設する工場製作の30トンクラスのセグメントを古川高架橋等で採用している。

(3) 鋼橋の合理化

鋼橋の合理化については、プレキャストPC床版を用いた少数主桁化を標準的に採用している。I桁形式の少数主桁が一般的であるが、支間が100m近くの長支間となる員弁川においては、箱桁形式の少数主桁を採用している。

3. 鋼・コンクリート複合エクストラード ズド橋「木曽川橋・揖斐川橋」

管内で最も特徴的な橋梁が木曽川橋・揖斐川橋であるが、ここでは経済性・合理性を追求して、エクストラードズド橋としては世界で初めての鋼とコンクリートの複合形式を採用した(図-2, 3・P13)。

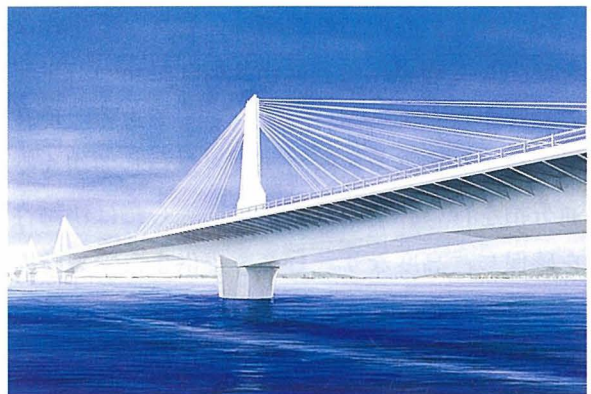


図-2 完成予想図

3-1 計画概要

(1) 上部構造

上部工は、河川条件から堤体部の径間長が160m程度以上となることから、下記の3案を比較し、PC・鋼複合エクストラードズド橋を採用した。

- ① PC・鋼複合連続エクストラードズド橋 (最大径間長275m)
- ② PC連続エクストラードズド橋 (最大径間長206m)
- ③ 鋼連続箱桁橋 (最大径間長165m)

また、本構造の主な特徴は以下の通りである。

1) エクストラードズド構造

エクストラードズド橋は、桁橋と斜張橋の中間的な特徴を持つ構造形式であり、従来の桁橋においての支点付近の負の曲げに対する桁内のPC鋼材を桁外に配置し、より大きな偏心量でプレストレスを桁に与える構造である。外力を主桁と斜ケーブルで適切に分担することにより(斜張橋は、外力のほとんどを斜ケーブルで分担)、桁橋と斜張橋との中間的な支間において、大幅な経済化を図れる構造である。

また、斜張橋と比較して、斜ケーブルに作用

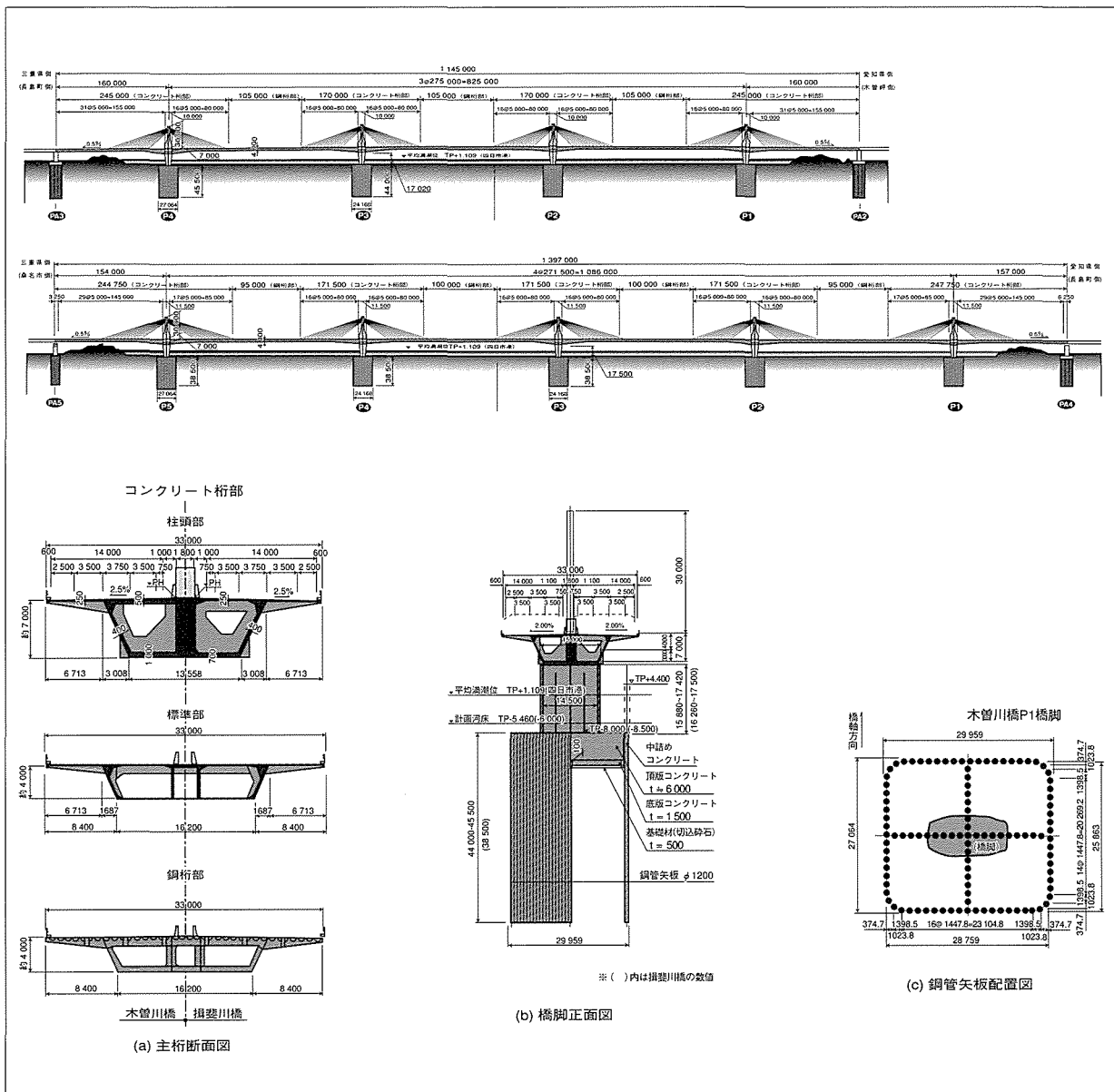


図-3 木曽川橋・揖斐川橋一般図

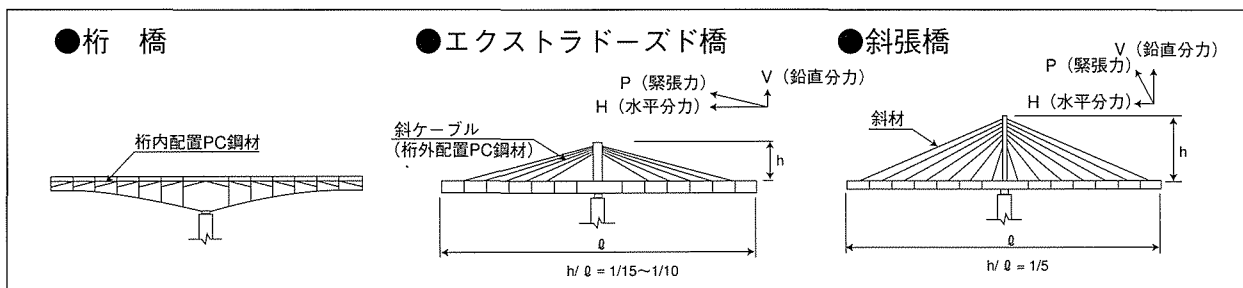


図-4 構造形式比較

する応力変動が小さく、疲労の影響を軽減できることから、結果的に引張応力度の許容値が斜張橋より大きくとれ、斜ケーブル量の低減及び安価な定着構造の採用が可能となり、コスト低減につながる(図-4)。

2) 複合構造

軸圧縮力が増大する支点部付近を、圧縮に強いコンクリート桁とし、支間中央部付近(約100m)を鋼桁とし死荷重及び主桁応力を低減させることにより、経済的に支間の長大化が可能

となる構造である。その結果、下部工と上部工のトータルコストが安価となるバランスのとれた設計が可能となる。

3) 外ケーブル構造およびプレキャストセグメント工法

PC箱桁部に外ケーブルと内ケーブルを併用すること、およびプレキャストセグメント工法とすることにより、部材の軽量化・施工の省力化・工期短縮・品質の向上そしてコストの縮減が可能となる。

(2) 下部工

下部工形式については、支持層までの深さが40mを超えること、河川内であることから、渇水期施工および洪水期の阻害率（7%以下）を考慮して下記の2案を比較検討し、工期および経済性等から鋼管矢板井筒基礎とした。

① 鋼管矢板井筒基礎（L=約45m）

② ニューマチックケーソン基礎

(3) 支承条件

支承条件については、メンテナンスおよび走行性を考慮し連続桁とすること、耐震性の向上を図ることなどから弾性結合の反力分散型ゴム支承とし、活荷重に対する支間部のたわみや斜ケーブルの応力変動を押さえるため、1橋脚2支承線形式とした。

(4) 設計検討

1) 限界状態設計法

設計に関しては、道路橋示方書に準拠することを基本とするが、構造上必要な性能を保持するために、各部材に適切な限界状態を設定した照査法を取り入れた。鋼部材やPC鋼接合部については、現状においては限界状態設計法が必ずしも確立されている状況ではないが、コンクリート部材と鋼部材の照査レベルを合わせ、複合橋全体の設計思想を統一するという観点から、疲労設計や終局時に対する検討を実施し、安全性の確保を図った。

2) 耐震性の検討

本橋は、特殊な構造を有する長大橋梁であり、

地震時の挙動が複雑であることから、架設地周辺の歴史地震や活断層を調べ、過去および将来を通じ想定し得る最大級の地震（歴史地震による推定地震M8.4、活断層による推定地震M8.1等）を用い、震源断層の広がりを考慮できる地震動評価手法等により評価・検討し、安全性の確保を図った。

3-2 基礎工・下部工の施工

基礎工は、一渇水期で施工が可能な鋼管矢板井筒工法としているが、工事用栈橋については設置撤去に多大な時間を要することから、すべて台船による水上施工とした。両橋とも、1997年9月より鋼管の打設に着手し、1998年5月、約9ヶ月間で全9基の橋脚の立ち上げを完了した。

過去の実施例より、橋梁形式検討時には2～3シーズンかかると懸念された施工は、新形式による橋脚数の削減及び水上からの施工により、一渇水期での施工を完了出来た（表-1、図-5・P.15）。

表-1 下部工の施工工程

工 程	1997年				1998年				
	9	10	11	12	1	2	3	4	5
鋼管矢板打設	■	■	■	■					
継手処理			■	■					
掘削			■	■	■	■	■	■	■
底板・水抜き・支保工設置					■	■	■	■	■
頂版							■	■	■
躯体							■	■	■
鋼管矢板切断・撤去									■

1) 鋼管矢板打設

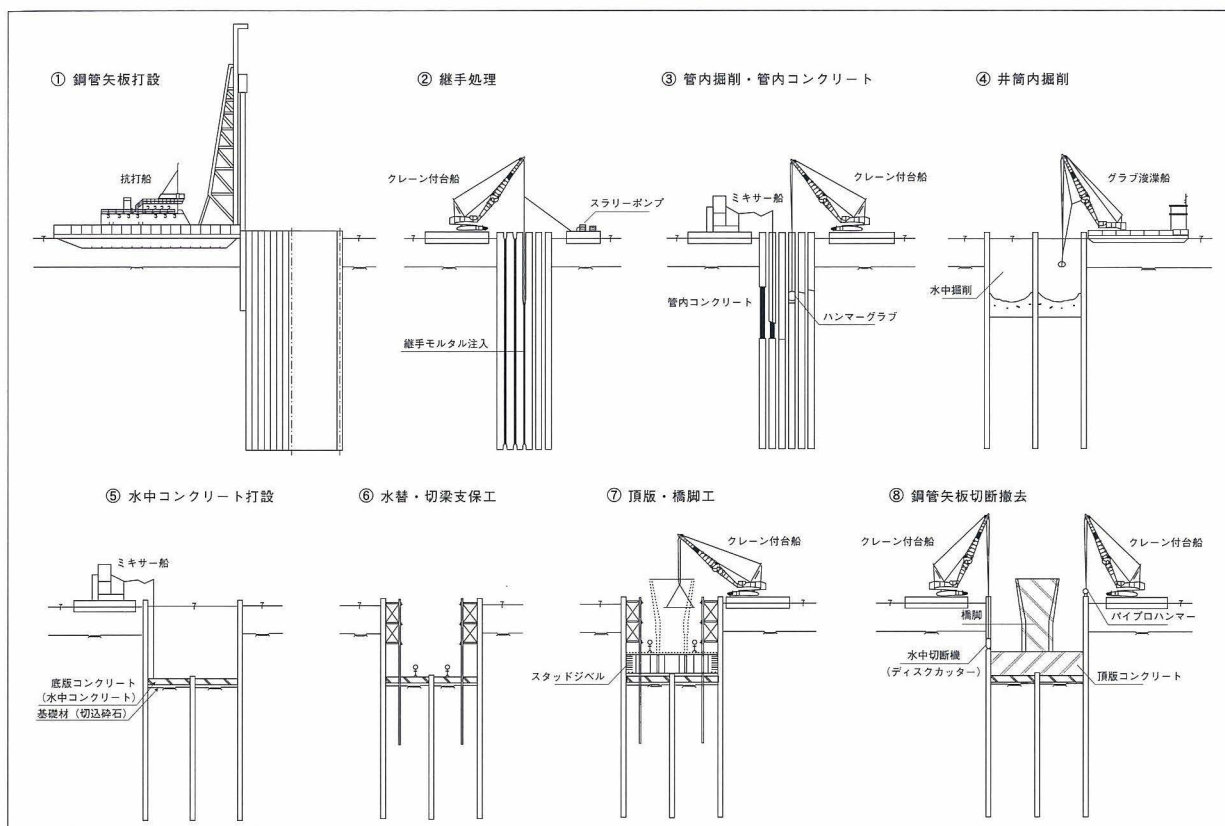
止水壁を兼ねた鋼管矢板（Φ1200mm、L=約50～60m）を杭打ち船により、井筒状（田の字状）に打設した。水深が2.5m以上ある個所は、海上輸送・水上施工のメリットを活かして、大型杭打ち船により現場継ぎ手作業が不要な一本杭施工を実施した（写真-2・P.15）。

2) 継ぎ手処理

締め切りの止水性確保と井筒としての一体化のために、鋼管矢板の継ぎ手部にモルタルを注入した（写真-1・P.15）。

3) 鋼管内の掘削およびコンクリート打設

鋼管内を、頂版付近まで掘削、ミキサ船により管内コンクリートを打設し、頂版と同程度の剛性を確保した。



図一5 鋼管矢板井筒基礎の施工順序



(a) モルタル注入前

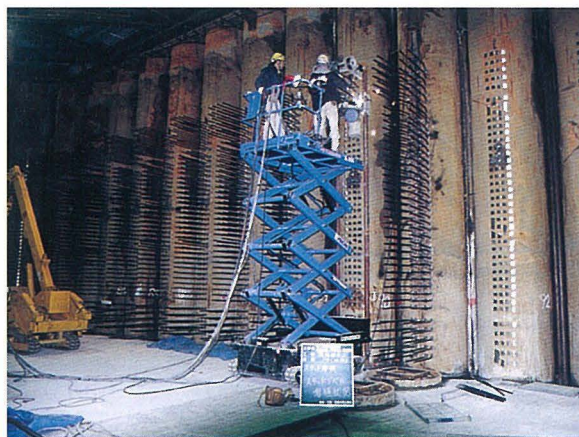


(b) モルタル注入後

写真一 鋼管矢板継手部



写真二 鋼管矢板締切り完了



写真三 スタッドジベルの溶接

となる構造である。その結果、下部工と上部工のトータルコストが安価となるバランスのとれた設計が可能となる。

3) 外ケーブル構造およびプレキャストセグメント工法

PC箱桁部に外ケーブルと内ケーブルを併用すること、およびプレキャストセグメント工法とすることにより、部材の軽量化・施工の省力化・工期短縮・品質の向上そしてコストの縮減が可能となる。

(2) 下部工

下部工形式については、支持層までの深さが40mを超えること、河川内であることから、渇水期施工および洪水期の阻害率（7%以下）を考慮して下記の2案を比較検討し、工期および経済性等から鋼管矢板井筒基礎とした。

① 鋼管矢板井筒基礎（L=約45m）

② ニューマチックケーソン基礎

(3) 支承条件

支承条件については、メンテナンスおよび走行性を考慮し連続桁とすること、耐震性の向上を図ることなどから弾性結合の反力分散型ゴム支承とし、活荷重に対する支間部のたわみや斜ケーブルの応力変動を押さえるため、1橋脚2支承線形式とした。

(4) 設計検討

1) 限界状態設計法

設計に関しては、道路橋示方書に準拠することを基本とするが、構造上必要な性能を保持するために、各部材に適切な限界状態を設定した照査法を取り入れた。鋼部材やPC鋼接合部については、現状においては限界状態設計法が必ずしも確立されている状況ではないが、コンクリート部材と鋼部材の照査レベルを合わせ、複合橋全体の設計思想を統一するという観点から、疲労設計や終局時に対する検討を実施し、安全性の確保を図った。

2) 耐震性の検討

本橋は、特殊な構造を有する長大橋梁であり、

地震時の挙動が複雑であることから、架設地周辺の歴史地震や活断層を調べ、過去および将来を通じ想定し得る最大級の地震（歴史地震による推定地震M8.4、活断層による推定地震M8.1等）を用い、震源断層の広がりを考慮できる地震動評価手法等により評価・検討し、安全性の確保を図った。

3-2 基礎工・下部工の施工

基礎工は、一渇水期で施工が可能な鋼管矢板井筒工法としているが、工事用栈橋については設置撤去に多大な時間を要することから、すべて台船による水上施工とした。両橋とも、1997年9月より鋼管の打設に着手し、1998年5月、約9ヶ月間で全9基の橋脚の立ち上げを完了した。

過去の実施例より、橋梁形式検討時には2～3シーズンかかると懸念された施工は、新形式による橋脚数の削減及び水上からの施工により、一渇水期での施工を完了出来た（表-1、図-5・P.15）。

表-1 下部工の施工工程

工 程	1997年				1998年				
	9	10	11	12	1	2	3	4	5
鋼管矢板打設	■	■	■	■					
継手処理			■	■					
掘削			■	■	■	■			
底板・水抜き・支保工設置					■	■	■	■	■
頂版						■	■	■	■
躯体							■	■	■
鋼管矢板切断・撤去									■

1) 鋼管矢板打設

止水壁を兼ねた鋼管矢板（Φ1200mm，L=約50～60m）を杭打ち船により、井筒状（田の字状）に打設した。水深が2.5m以上ある個所は、海上輸送・水上施工のメリットを活かして、大型杭打ち船により現場継ぎ手作業が不要な一本杭施工を実施した（写真-2・P.15）。

2) 継ぎ手処理

締め切りの止水性確保と井筒としての一体化のために、鋼管矢板の継ぎ手部にモルタルを注入した（写真-1・P.15）。

3) 鋼管内の掘削およびコンクリート打設

鋼管内を、頂版付近まで掘削、ミキサ船により管内コンクリートを打設し、頂版と同程度の剛性を確保した。

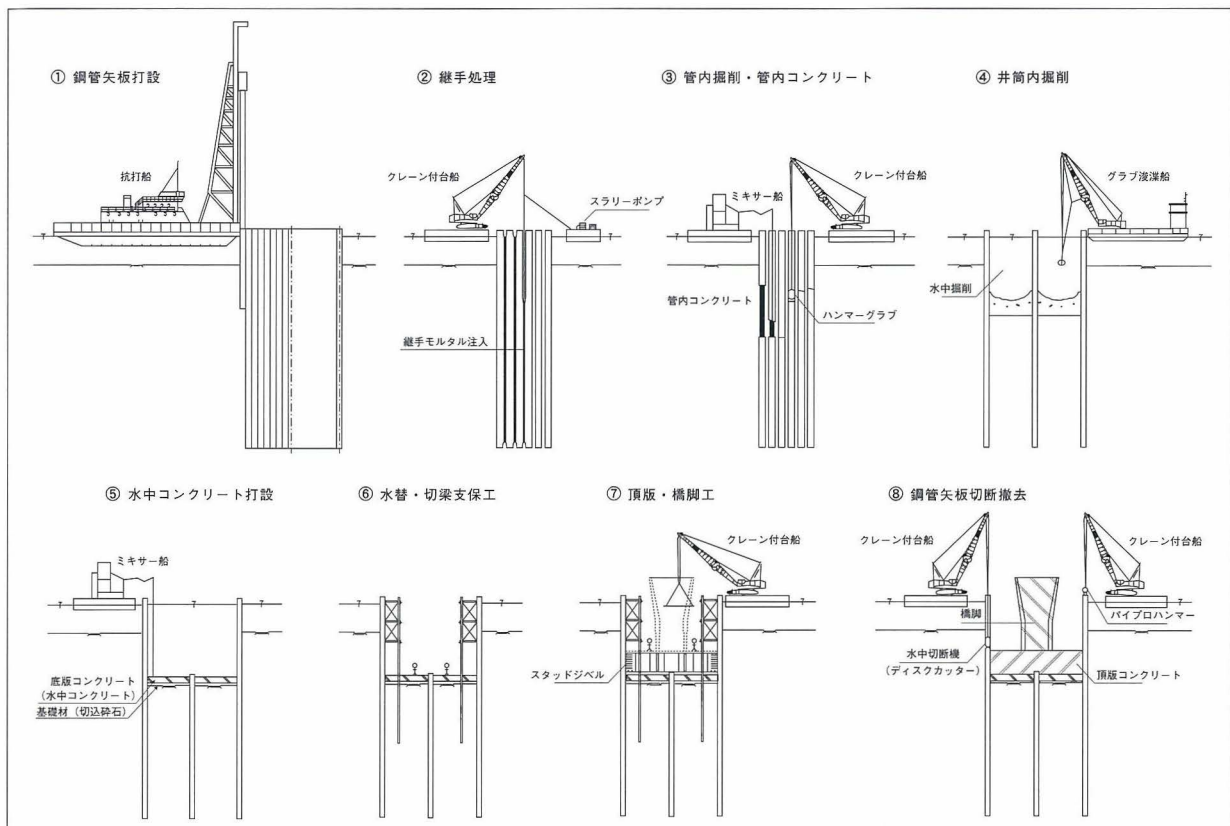


図-5 鋼管矢板井筒基礎の施工順序



(a) モルタル注入前



写真-2 鋼管矢板締切り完了



(b) モルタル注入後

写真-1 鋼管矢板継手部



写真-3 スタッドジベルの溶接

- 4) 井筒内掘削・底版部水中コンクリート打設
- 5) 水替え・切り梁支保工設置

河川および海苔・貝類の養殖場等への影響を軽減するため、井筒内の水の濁水処理およびpH調整を行った後、水を排出し切り梁支保工を設置した。また、上部工も含めて工事期間中は、河川の水質調査を実施しながら施工を進めている。

6) 頂版・躯体

鋼管矢板と頂版は、自動溶接によるスタッド結合を行い、頂版施工後躯体を施工した（写真3・P.15）。

なお、頂版および躯体のコンクリートは、ひび割れ制御の目的で低熱ポルトランドセメントを用いた。

3-3 上部工の試験検討

(1) プレキャストセグメントの実物大模型試験

これまで経験の無い上下6車線一体の巨大セグメントの製作であるため、実施工に先立ち実物大の模型セグメントを2体マッチキャストで製作し、打設方法の確認および硬化時の水和熱によるバナナ変形（新旧コンクリートの温度差によるそり変形）の把握を行った。模型セグメントのコンクリートの仕様・配合は表の通りである（表-2,3）。

表-2 コンクリートの仕様

項目	仕様
スランブ（現場到着時）	20±2.5cm
空気量	4.5±1.5%
脱型時強度	300kgf/cm ²
設計基準強度（材齢28日）	600kgf/cm ²
スランブ保持時間	90分確保

表-3 コンクリートの配合

目標の スラブ	空気量	水 セメント比 W/C(%)	細骨 材率 S/a(%)	単位量(kg/m ³)				混和剤(kg/m ³)	
				セメント	水	細骨材	粗骨材	高性能AE減水剤SP	AE
20cm	4.5%	32.0	42.0	509	163	681	967	7.38 (1.45%)	1.5A

バナナ変形については、打設直後から切り離し直前（23時間後）までの相対変位として、張り出し床版先端部で約2mmの変形が計測された

が、NEWセグメントの温度がほぼ外気温と同等まで低下した81時間後では約1mmの残留変形にまで低下し、この程度であれば接着剤等での対応が可能のため、実施工に支障ないことを確認した（図-6）。

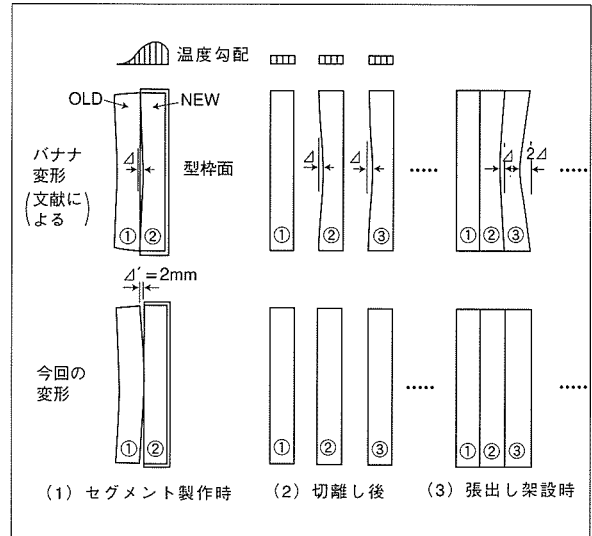


図-6 セグメントのそり変形概念図

(2) コンクリート・鋼接合部疲労試験

コンクリートと鋼との接合部は、作用曲げモーメントの小さい交番部に位置しているが、力の伝達を円滑に行える接合構造でなければならない。特に、コンクリート床版および鋼床版部は、曲げモーメントやせん断力およびねじりモーメントだけでなく、T荷重による床版・床組系の力も受けることとなり、静的な強度の満足だけでなく、疲労に対しても十分安全な構造を確保する必要がある。

そこで、接合部の一部を取り出した実物大の試験供試体を製作し、移動輪荷重による繰り返し載荷を実施して疲労に対する安全性の評価を行い、設計に反映させた。

(3) 斜ケーブルの風洞実験

当橋では、並列斜ケーブル（最長94m）が多数設置されるが、このケーブル間隔が、流れ方向に並列配置された円柱に発生する空力振動としてよく知られるウェークギャロッピングあるいはウェークフラッター発生の可能性のある領域とされるW/D（ケーブル中心間隔／ケーブル

表-4 上部工の施工工程

工種	1998年				1999年						2000年						2001年		
	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6
セグメント製作工																			
架設工																			
鋼桁製作工																			
鋼桁架設工																			
橋面工																			

径) = 4.3~8.7に該当するため、風洞試験によって制振対策を検討した。

この結果、疲労の面からも問題のない振動レベルとなる構造減衰率の確保、及び全振動方向に対する制振等を考慮して、高減衰ゴムダンパーを設置することとした。

3-4 上部工の施工

上部工は、現在施工中であり、現況および計画を紹介する(表-4)。

(1) プレキャストセグメントの製作

木曽川橋・揖斐川橋の上部工施工は、各2企業体、合計4企業体で行われており、製作ヤードは、三重県四日市港の霞埠頭とした(図-7)。

製作ラインは、それぞれ鉄筋の加工場、鉄筋籠の編成台2基、ショートラインマッチキャスト方式によるセグメント製作装置、ストックヤードで構成される(図-8、写真-4)。

セグメント形状は、幅33m高さ7~4m奥行き5m、重量は一個300トン~400トンである。コンクリート強度は、高強度の60N/mm²を採用している。

現時点におけるセグメントの製作1サイクルの工程は4~5日であり、1999年12月末現在で、

全体約360個中2/3の製作を完了している。

(2) セグメントの運搬

運搬は海上輸送とし、架橋地点までの曳航ルートは海苔の養殖場を避け、木曽川橋で約15km、揖斐川橋で約10kmである(図-1・P.11)。

運搬・架設とも海上・水上作業となるため、

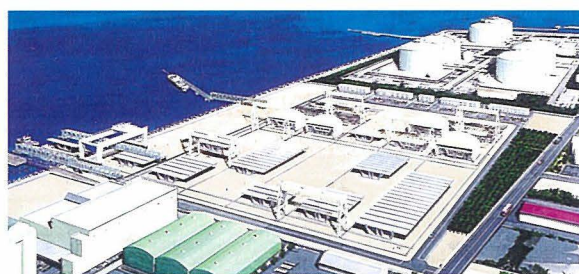


図-7 セグメント製作ヤード



写真-4 鉄筋籠吊込み

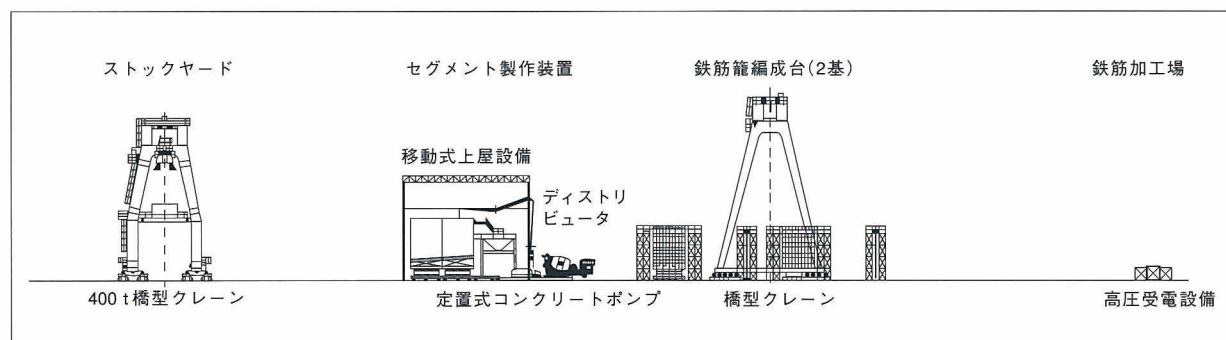


図-8 製作ヤードレイアウト

気象予測による判断、また架橋地点の水深が浅いため、潮の干満の時間を見越した時間工程の調整を行い実施している（写真-5）。



写真-5 セグメント運搬

(3) 柱頭部セグメント架設

柱頭部の架設は、セグメント重量を400トン以下に押さえるため橋軸方向に3分割して、フローティングクレーン船にて行った（写真-6）。



写真-6 柱頭部セグメント架設

一日1個のセグメントを搬出・運搬・架設するため、一橋脚の柱頭部架設完了には計3日を要した。

両橋で9橋脚、計27個のセグメントの架設は、1998年9月から12月の間に実施した。

(4) 主塔（タワー）の構築

主塔は、橋面より高さ30mのRC構造で、塔頂10m部分は、鋼製の斜ケーブル定着体がセットされる。コンクリートは、プラント船による現場打ちとして、設計基準強度は50N/mm²の高強度コンクリートを採用した。

また、温度ひびわれ抑制の観点より、低熱ポルトランドセメントを採用した。

(5) 張り出し部セグメントの架設

張り出し部セグメントは、各橋脚より左右にカンチレバー架設を行うが、エレクトリションズを利用した吊り上げ架設方法を採用している（写真-7）。



写真-7 張り出し部セグメント架設

この方法は、簡便で転用が可能な架設機材を主桁の張り出し部分の両サイドに取り付けて、台船で運搬したセグメントを吊り上げ所定の位置にセット、接合面に接着剤を塗布して一体化し桁内のPC鋼線をセット緊張していく工法である。

また、斜ケーブルは、一本当りの張力600tfで、中央分離帯部分に各セグメント毎2本の併行配置として順次セットを行なう。

張り出し架設は、全体工程上揖斐川橋のP2橋脚が最も早く、1999年8月に、片側16個、両側で32個のセグメントの架設を完了した（写真-8）。



写真-8 セグメント架設完了
(揖斐川橋 P2橋脚)

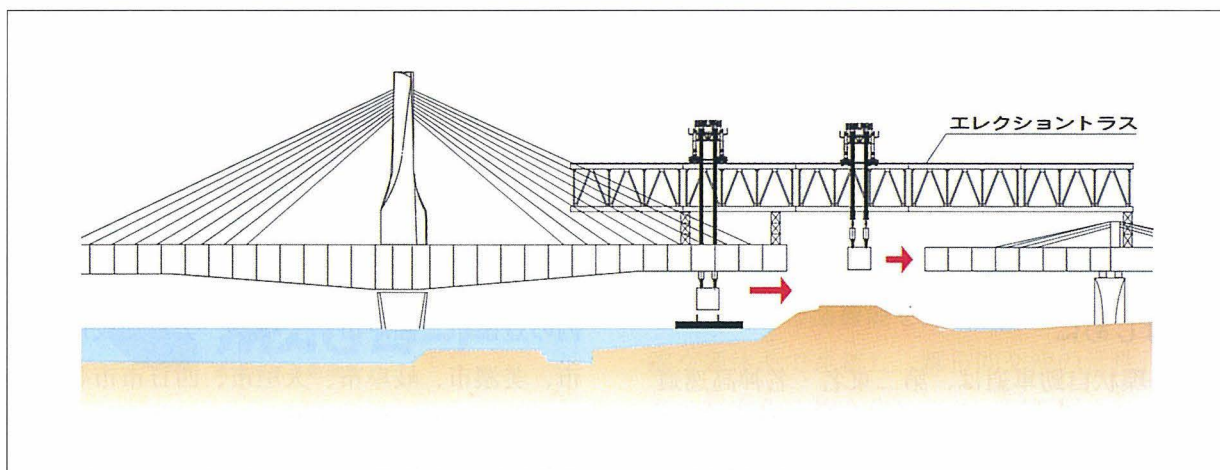


図-9 側径間部架設（木曽川橋）

また、1999年12月末現在、両橋で全体約360個中、半分の架設を完了している。

架設サイクルは、気象条件に左右されるが、現在4日程度（斜ケーブルがない場合）となっている。

(6) 側径間部の架設

側径間の架設は、今後の作業となるが、木曽川橋の例を紹介する。

ここでは、海上輸送したセグメントをエレクショントラスを用い、逆張り出し架設で施工する予定である（図-9）。

(7) 鋼桁の架設

支間中央部分約100mの鋼箱桁部は、大ブロック一括吊り上げ架設工法を採用する予定である。工場製作の鋼箱桁（重量約2,000トン）を台

船で運搬し、架設済みの主桁先端に取り付けた反力桁により吊り上げ、閉合を行う（図-10）。

鋼箱桁7箇所架設の時期は、2,000年の夏～冬頃の予定である。

4. おわりに

橋梁主体区間である四日市工事事務所管内の第二名神「愛知・三重県境～四日市ジャンクション間」の橋梁新技術・新工法への取り組みについて、木曽川橋・揖斐川橋を中心に紹介させて頂いた。

現地は、現在、工事の最盛期を迎えているが、今後とも工事の安全に万全を期し、また新技術・新工法の確立に向け、関係者一同一丸となって取り組んでいく予定である。

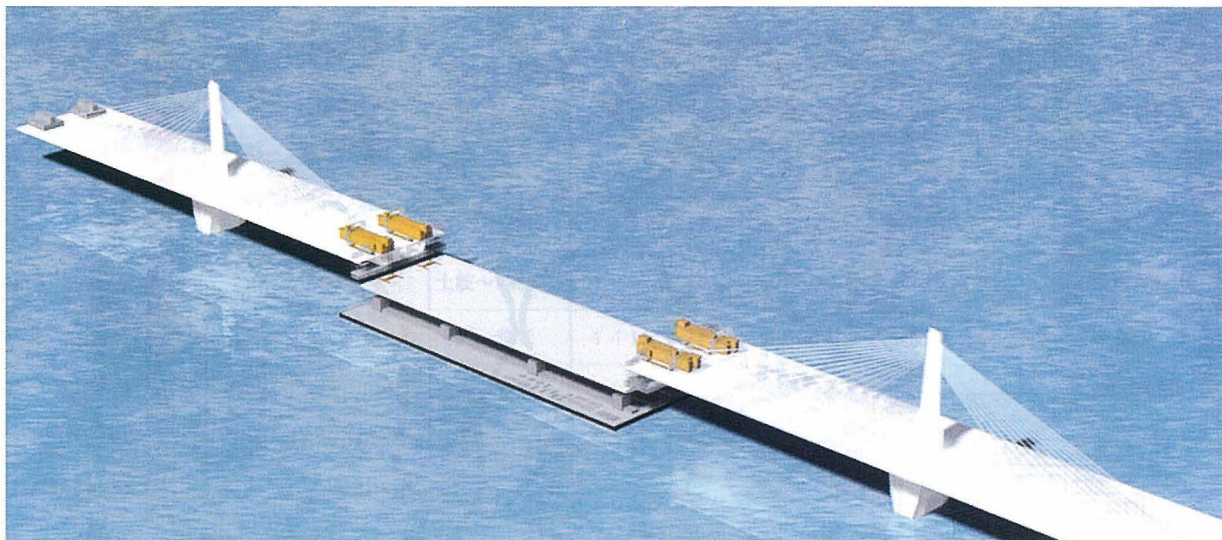


図-10 鋼桁の架設（閉合）

東海環状自動車道の事業状況

建設省中部地方建設局

岐阜国道工事事務所 所長 所 輝雄

1. はじめに

東海環状自動車道は、第二東名・名神高速道路と一体となって、中部圏域内の地域開発プロジェクトの支援や、特に2005年開港の中部新国際空港や愛知万博などのアクセス道路として中部圏の発展に寄与する重要な幹線道路であり、たいへん大きな期待が寄せられている。

本稿は、東海環状自動車道の岐阜国道工事事務所管内の事業概要について紹介するとともに、現在施工中の改良工事における凝灰角礫岩の掘削工法の検討について述べるものである。

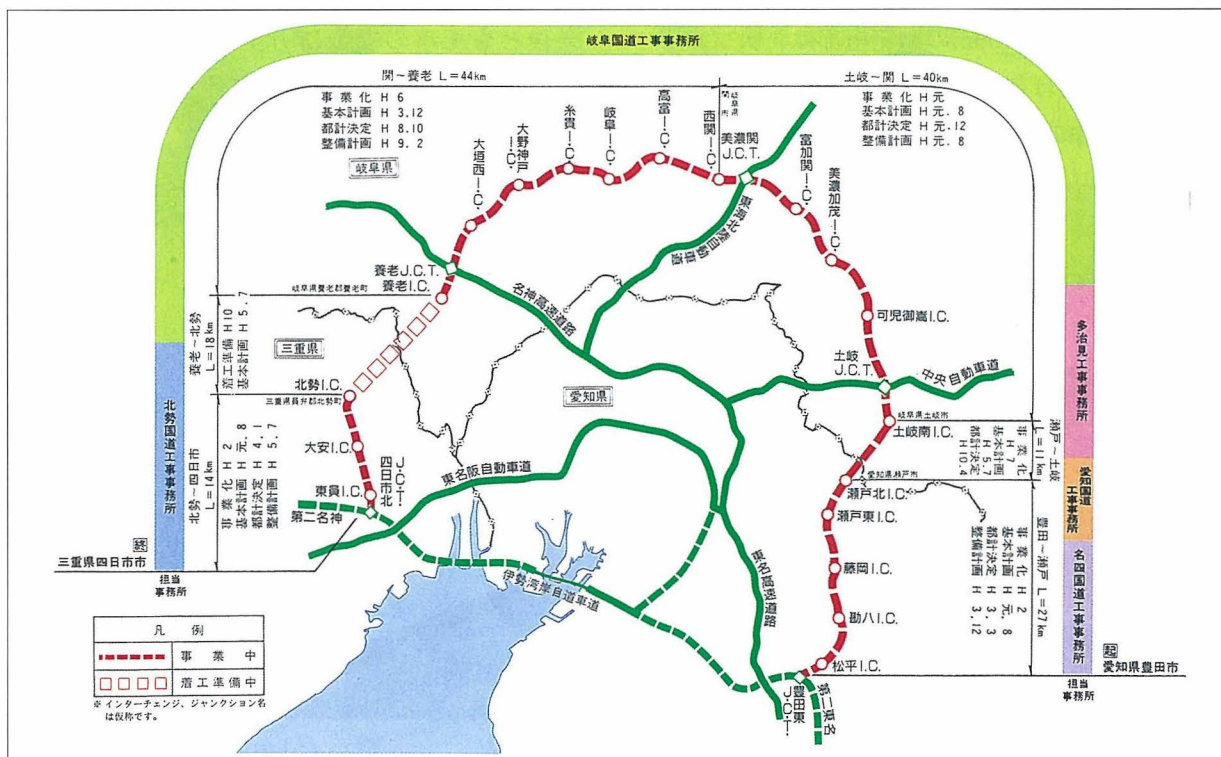
2. 東海環状自動車道の概要

2-1 全体の概要

東海環状自動車道は、名古屋市を中心として
半径30～40km圏に位置する愛知・岐阜・三重県

内の豊田市、瀬戸市、土岐市、美濃加茂市、関市、美濃市、岐阜市、大垣市、四日市市等の諸都市を連絡し、第二東名・名神高速道路と一体となった環状道路で、東名・名神高速道路、中央自動車道、東海北陸自動車道等とともに、中部圏の広域的な幹線道路網を形成する高規格幹線道路である。

- 路線名：一般国道475号
- 区間：愛知県豊田市(第二東名高速道路)～三重県四日市市(第二名神高速道路)
- 延長：約160km
- 車線数：4車線、W＝23.5m
- 道路種別：自動車専用道路
設計速度100km/h



图一1 全体图



図-2 シンボルマーク

また、東海環状自動車道は「^マMAGロード」のニックネームで呼ばれ、図-2に示すシンボルマークが使用されている。これは一般公募により決定しており、ニックネームは、三重県の頭文字である「M」と、愛知県の頭文字である「A」と、岐阜県の頭文字である「G」を組み合わせ、^マ「MAGロード」と命名され、マグネット（磁石）のようにそれぞれの地域を引きつける道路という意味も込められている。シンボルマークは、三重県のかたちを「M」、愛知県のかたちを「A」、岐阜県のかたちを「G」に置き換えて組み合わせたもので、カラーリングは三重県が海をイメージさせるブルー、愛知県が都会をイメージさせるレッド、岐阜県が山や自然をイメージさせるグリーンとなっている。

さらに、東海環状自動車道の事業状況を沿線地域の皆様に紹介するため、「道からの手紙」広報誌の年4回の発行（新聞折り込みによる配布）や、沿線地域の自治体が主体となった少年サッカー大会「^マMAGカップサッカー」の支援など、地域へのコミュニケーション活動として取り組んでいる。^マMAGカップサッカー大会は、平成9年から大垣市、四日市市、豊田市で毎年12月に行われており、平成12年は岐阜市で第4回大会が行われる予定である。

2-2 主な経緯等

東海環状自動車道の出発は、昭和57・58年度に行われた、国土庁、建設省、通産省、運輸省、農水省の5省庁による「東海環状都市帯整備計画調査」である。東海環状都市帯構想とは、松阪、四日市、大垣、岐阜、美濃加茂、豊田、豊橋等の諸都市諸機能を適切に分担するように幹線交通体系で連結し、都市間交流の活性化、産業の高度化・複合化により一層発展させるとともに、諸都市機能の集積を進めるため、地域整備の方向、都市基盤施設及び交通輸送施設等の整備に関する総合的な計画を策定し、その実現を図ろうとする構想であり、この中で、幹線交通体系の一つとして東海環状自動車道が位置付けられている。

その後、東海環状自動車道は、昭和62年6月30日に全国14,000kmの高規格幹線道路の一般国道自動車専用道路に指定され、整備の位置付けと事業の促進が図られている。また、平成5年4月1日に東海環状自動車道は、一般国道475号に路線指定されている。

東海環状自動車道の事業は、平成元年度に土岐市～関市区間が事業化し、その後、平成2年度に豊田市～瀬戸市区間と北勢町～四日市市区間が、平成6年度に関市～養老町区間が、平成7年度に瀬戸市～土岐市区間がそれぞれ事業化し、また、平成10年度に養老町～北勢町区間が

表-1 各区間の進捗状況

区 間	延 長	事業化	都市計画決定	用地取得率	工事着手	担当事務所
豊田～瀬戸	27 km	H2	H3. 3	約85%	H10～	名四、愛国
瀬戸～土岐	11 km	H7	H10. 4	(注1)	——	愛国、多治
土岐～関	40 km	H1	H1. 12	約85%	H8～	多治、岐国
関～養老	44 km	H6	H8. 10	(注2)	——	岐阜国
養老～北勢	18 km	(注3)	——	——	——	岐国、北勢
北勢～四日市	14 km	H2	H4. 1	約70%	H9～	北勢

(注1) H10より測量調査着手

(注2) H9より一部地域で現地測量、地質調査を実施中。その他の地域では話し合いを継続中。

(注3) H10より新規着工準備区間、都計に向けて環境調査等を実施中。

着工準備となり、上記の6区間を岐阜国道、多治見工事、愛知国道、名四国道、北勢国道の5事務所で担当している。

各区間の進捗概況は、表-1 (P.21) に示すとおりである。

2-3 東海環状自動車道の整備効果等

東海環状自動車道は、東海3県の豊田、瀬戸、土岐、岐阜、大垣、四日市などの諸都市を環状に連絡し、東名・名神高速道路、中央自動車道、東海北陸自動車道や第二東名・名神高速道などの高速自動車国道と一体となって、広域的なネットワークと放射幹線道路相互の連絡を形成し、都心内への通過交通の排除や都心交通の分散導入により交通混雑の緩和や交通安全の確保を図り、また、東海環状都市圏各都市間の所要時間の短縮効果により地域連携の強化を図るとともに、周辺地域との交流を促進し、名古屋圏が産業・技術・経済・文化などの中枢圏域として秩序ある発展を図る基盤として大きな役割を果たし、さらに、中部圏域内の地域開発プロジェクトを支援して、地域の発展に大きく寄与することが期待される。

また、東海環状自動車道の豊田市～関市区間は、「愛知学術研究開発ゾーン」「東濃研究学園都市」をはじめとする各種の地域開発プロジェクトや、2005年の中部新国際空港の開港や日本

国際博覧会（愛知万博）を支援するため、現在重点的に整備を図っており、さらに、早期開通を図るため、第二東名の豊田JCT～東海北陸自動車道美濃関JCT区間（延長73km）は、平成12年度から一般有料道路事業による整備を行う予定である。

3. 岐阜国道工事事務所管内の事業状況

岐阜国道工事事務所では、東海環状自動車道（160km）のうち約半分の75kmを担当しており、区間別には、土岐～関区間のうちの美濃加茂～関区間（約22km）、関～養老区間（約44km）、養老～三重県境区間（約9km）の3区間である。

3-1 土岐～関区間の事業状況

東海環状自動車道の土岐～関区間（延長39.5km）のうち、岐阜国道工事事務所の担当は、美濃加茂～関までの延長21.8kmであり、残りの区間は、多治見工事事務所が担当している。

この区間は、東海環状自動車道の中でいちばん最初に事業着手しており、平成元年度に事業化し、平成元年12月に都市計画決定している。その後、平成2年度より用地買収に着手し、現在約85%の用地取得を完了している。用地買収の残っている区間は、美濃関JCT付近のみであるが、この区間についても、地元の計画に対する理解が得られ、現在用地調査等を実施中である。

また、用地買収が完了した地区から、文化財保護法に基づき埋蔵文化財発掘調査を実施している。ルート上の埋蔵文化財面積は、約21万 m^2 （全用地面積の約8%）あり、県教育委員会に委託して調査を実施しているところである。

工事については、平成8年度から着手しており、富加関IC付近、美濃加茂IC付近より着工し、現在、橋梁の下部工事、上部工事、大規模な土工工事等を実施中である。また、多治見工事事務所担当区間内では、土岐JCT付近を中心に工事を進めているほか、各地域で工事に着手されている。

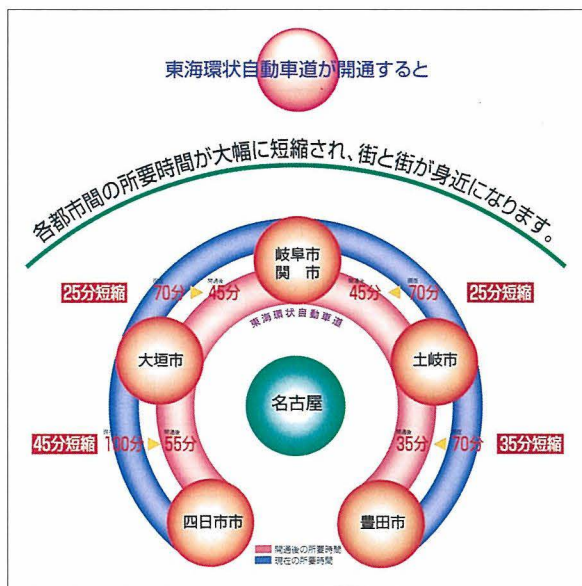


図-3 時間短縮効果



写真-1 埋蔵文化財の発掘状況



写真-2 美濃加茂IC付近の完成予想図

3-2 美濃加茂～関区間の路線状況

岐阜国道工事事務所の担当している区間の路線の概況は、次のとおりである。

八百津町と美濃加茂市の境に、白山トンネル（多治見工事担当）があり、これより西側を当工事事務所が担当している。白山トンネルを出ると下米田高架橋（約1,180m）があり、この高架橋に続いて飛騨川を渡河する飛騨川橋（約165m）、下川辺高架橋（約410m）と続き、その後、山之上台地を通過する山之上トンネル（約640m）、切土区間が続き、美濃加茂IC（仮称）で一般国道41号に接続する。この美濃加茂IC付近には現在岐阜県で事業を進めている公園「平成記念緑のふれ愛広場」がある。また、インターチェンジに併設した休憩施設（サービスエリア）が計画されており、この公園を利用したハイウェイオアシスの構想も進められている。

美濃加茂ICから、蜂屋高架橋（約210m）及び島之洞高架橋（約190m）や切土区間で通過し、主要地方道の美濃加茂和良線を跨道橋で通過後、枋洞トンネル（約580m）で美濃加茂市から富加町に入る。枋洞高架橋（約320m）、片町トンネル（約160m）、川浦川を渡河する片町高架橋（約500m）を通過した後、川小牧トンネル（約1,270m）、津保川を渡河する川小牧高架橋（約600m）を通過して、県道関金山線に接続する富加関IC（仮称）となる。

この富加関ICは、地形上の関係からかなり大規模な土工工事（切土）の計画となっている。

富加関ICから、県道の富加美濃線と志津野川を渡河する大平賀高架橋（約670m）を通過後、約6kmの土工区間を経て長良川鉄道や県道美濃関線、国道156号を高架橋（約1,800m）で通過後、東海北陸自動車道と美濃関JCT（仮称）で接続する。

また、美濃加茂～関区間については、道路構



写真-3 富加関IC付近の完成予想図

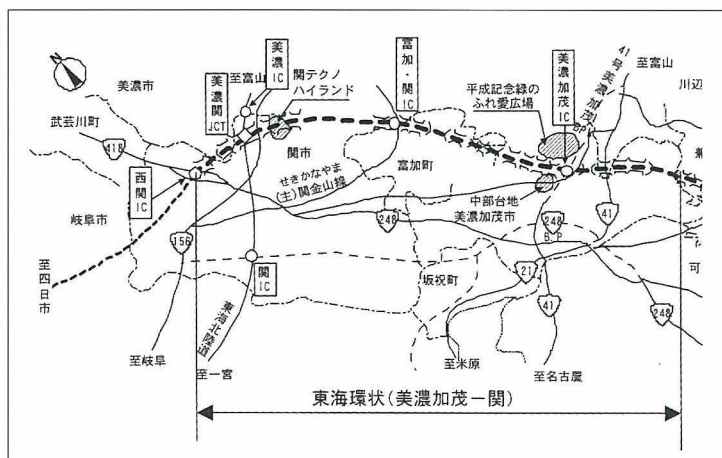


図-4 概略の路線平面図

造物が約50%を占めており、土工区間においても切土が多いため、この区間の発生土が約550万 m^3 に達すると見込んでおり、その処分や有効利用について関係機関と協議しながら進めているところである。



写真-4 美濃関JCT付近の完成予想図

3-3 関～養老区間の状況

関～養老区間（延長44km）については、平成8年10月に都市計画決定しており、現在、事業について地元の理解が得られた地区から、現地測量、地質調査や道路設計等を実施している。また、計画当初からトンネル箇所山の安全性の問題、地盤の軟弱な場所における道路構造物の安全性の問題、及び生活環境や自然環境問題等で、理解が得られない地区もあり、地元自治会等と話し合いを継続しているところである。

3-4 養老～県境区間の状況

養老～三重県境区間（延長約9km）については、平成10年度から新規着工準備区間として事業着手しており、現在、平成11年6月に施行された環境影響評価法に基づいて環境調査等を実施している。この区間は、起点側は沖積堆積層があり、養老山脈をトンネルで通過するため、今後、十分な調査を行う必要がある。

4. 東海環状自動車道の地質状況

東海環状自動車道の美濃加茂～関区間の地質について、中古生代の美濃帯と第三紀中新世の

凝灰角礫岩について述べる。

4-1 美濃帯（頁岩、チャート、砂岩）

地質調査の結果、関～美濃加茂のうち、関市から富加町にかけては中・古生代に形成された美濃帯、第四紀の沖積層、崖錐堆積物に分類される。

美濃帯の地層群は、チャート、石灰岩、緑色岩類などの海洋性の堆積物と、火山物質や砂岩、泥岩などの陸源碎屑群が大陸縁辺部で混合した堆積岩コンプレックスであり、岩相や年代から、坂本峠ユニット、佐門岳ユニット、舟伏山ユニット、那比ユニット、金山ユニット、上麻生ユニットの6つのユニットに分けられている。このうち、路線付近は、那比ユニット及び上麻生ユニットに位置し、関付近では、砂岩・泥岩の互層と主に巨大なチャートの岩体からなり、塊

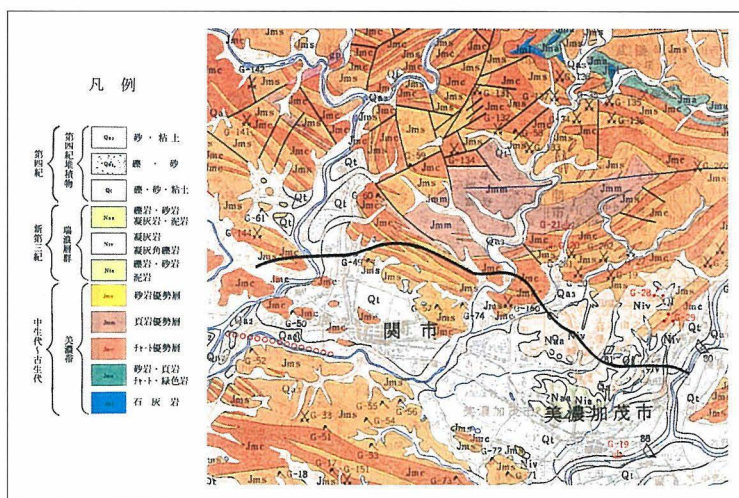


図-5 美濃加茂～関区間の地質図

表-2 富加関IC付近の地質層序

時代	地層名	記号	記事
新第四紀	人工改変地	B	人為的に改変された地区で、道路および盛土層。
	崖錐堆積物	Dt	山麓部や谷奥部の緩斜面に分布する。粘性土や礫質土が混在し、不均質である。締まりは緩い。
	沖積層	A ₂	山間部の谷底に分布する。礫質土、砂質土、粘性土からなり締まりは緩い。
		A ₁	A ₂ 面より一段下に広い沖積低地を形成する。上部は粘性土、下部は礫質土からなる。
中生代・古生代	中砂岩	Ss	新鮮部は暗青灰～黒灰色、風化部では黄灰色～黄褐色を呈する。中粒～細粒砂岩を主体とし、頁岩を含む。割れ目が発達する。
	古頁岩	Sh	新鮮部は黒灰色、風化部では黄灰～黄褐色を呈する。片理が発達し、軟質化しやすい。所々に硬質の珪質部を挟んでいる。
	古生代層	チャート	灰～褐色の層状チャート。一部で珪質頁岩へ漸移する。硬質だが割れ目が発達する。

状の砂岩やオリストストローム（海底地すべり堆積物）を挟んでいる。この基盤岩を被覆して、長良川河床部や沖積段丘部には玉石を含む砂礫層の段丘堆積物が分布している。

富加関IC付近でも、美濃帯の砂岩、頁岩及びチャートが基盤岩となっており、各層の走向はほぼ東西となっている。

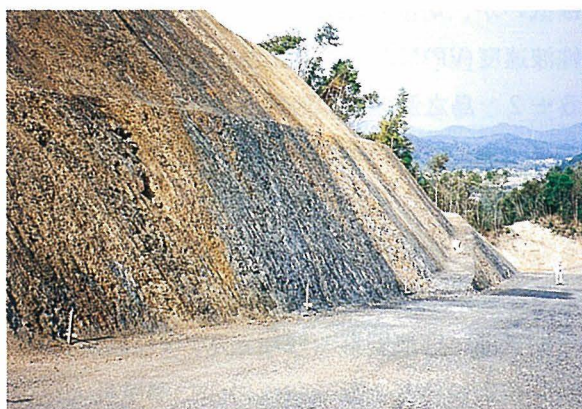


写真-5 富加関IC付近の現場状況

この付近では、チャートは、主に幅5cm程度の板状チャートからなり層理面の発達した岩相を示す。したがって、岩片自体非常に硬質であるが、層理に沿った亀裂が非常に多い岩盤状況を呈する。また、チャート層には頁岩・砂岩の薄層を挟在し、下位の砂岩層境界部では互層状をなす。チャートの構造としては、層内での褶曲が著しく発達し、頁岩との境界部が断層と推定されチャートの破碎帯が厚い。

頁岩は、岩質としてはこの地域の中・古生層のうち最も脆弱であり、風化の著しい状況を示す。新鮮部での黒色頁岩の岩質は、岩片自体硬質であるが多数潜在亀裂が発達し、切土のり面などに出現した場合、細片～角礫状の亀裂状況を示す。頁岩はこの地域の北側に分布し、全体的に風化が進行しているため表層部は土砂化しており、また、チャートと砂岩層中にも薄層で挟在する。

砂岩は、中粒～細粒砂岩からなり、岩片自体比較的硬質でチャート、頁岩に比べ亀裂が少なく、塊状岩盤となっている。砂岩層中には何層かの頁岩の薄層を挟在し、細かな互層状をなす

部分も見られる。砂岩の層理面は、明瞭でなく頁岩の薄層を挟在する部分でわかるが、全体に南側につれて傾斜がやや緩くなる。この地区の西側では全体に表層部の強風化帯が厚い傾向を示す。また、富加関IC付近の切土工事の約半数は砂岩となる。

富加関IC付近から富加町の川浦川にかけても、チャート、砂岩、頁岩よりなる複雑な地質構造を示す堆積岩が分布している。

4-2 凝灰角礫岩（火山砕屑物）

富加町の川浦川付近から美濃加茂ICにかけて、新生代第三紀中新世に形成された火山砕屑岩類の瑞浪層群が分布している。瑞浪層群は、下位から蜂屋累層、中村累層、平牧累層の三つに区分され、美濃加茂IC付近では最下部の凝灰角礫岩、火山角礫岩を主体とする蜂屋累層が分布しており、現地踏査では、凝灰角礫岩、火山角礫岩、凝灰岩、湖沼性堆積岩、及び溶結凝灰岩の火山砕屑物が分布している。

表-3 美濃加茂IC付近の地質層序

地質年代	地層名		記号	層相・その他	
現世	盛土		B	人工的に形成された平坦地。土砂から成る。	
新生代第四紀	沖積	崖錐堆積層	dt	主に礫混り土砂～砂から成る未固結堆積物。斜面下方に分布する。	
		沖積第二堆積層	Af ₂	山間の小さな谷沿いに分布する未固結堆積物。礫・砂・粘性土から成る。	
	世	沖積第一堆積層	Af ₁	比較的広い谷沿い堆積する礫・砂・粘性土から成る未固結堆積物。	
		群	山之上礫層	Yg	亜円礫～円礫を多く含む固結良好な礫層。調査地南東に広く分布している。
新生代第三紀	中新世	瑞浪層群	凝灰岩	M(Tf)	多くは凝灰角礫岩中にレンズ状に分布する。所々に砂質な層相を示し、稀に火山岩礫を含む。
		凝灰角礫岩	M(Tb)	調査地全域にわたって広く分布する。礫は安山岩質火山岩からなる。全体にわたって、塊状無層理、割れ目は少ない。	
中・古生代	美濃帯チャート		Ch	調査地東部で僅かに露頭する。黒色～暗灰色の層状チャート。	

凝灰角礫岩は、蜂屋累層の主体をなすもので、この地域に広く分布する。固結度の良い中硬質の岩で、新鮮岩は暗灰色を呈し、塊状で割れ目の少ない堅硬な岩盤を呈する。径2～200mm程度の安山岩、凝灰岩を主体とする角礫を多く含み、まれに炭質物や砂岩礫、チャート礫を含む。

火山角礫岩は、径5～20cm程度の安山岩を主体とした角～亜円礫を多く含むもので、凝灰角礫岩と漸移的に接する。固結度の良い中硬質の岩で塊状を呈する。

凝灰角礫岩及び火山角礫岩の表層部は比較的

割れ目が多く、割れ目に沿って風化が進行する傾向があり、山腹斜面ではこれらの割れ目に沿った岩塊の崩落が多く認められる。

凝灰岩は、凝灰角礫岩層中にレンズ状～層状に分布する。粗粒で中硬質の岩であるが、風化を受けやすい。

湖沼性堆積層は、凝灰質の砂岩、礫岩、泥岩が層状に堆積したもので、一部は互層状を呈し、凝灰角礫岩、火山角礫岩に挟まれて分布する。

熔結凝灰岩は蜂屋累層の最下層であり、中硬質であるが節理が発達し、径2～5mm程度の白色や黒色の扁平したガラスを含む。基質はガラス質で硬いが比較的脆い。

5. 凝灰角礫岩の切土施工について

現在、東海環状自動車道の工事については、富加関ICから美濃加茂IC区間の、改良工事や橋梁下部工事を進めている。

美濃加茂IC付近や島之洞地区の改良工事においては、凝灰角礫岩、火山角礫岩等の火山碎屑物の切土や掘削工事を施工している。

火山碎屑物はマトリックスが軟質であるため、軟岩に相当するものであるが、割れ目が発達していないためリッパ掘削が困難であり、軟岩と中硬岩の判定方法および適切な掘削工法の選定の検討を行った。

5-1 美濃加茂IC付近の地質

美濃加茂IC付近の地形は、美濃高原の南東部に位置し、標高140m程度の比較的緩斜面の丘陵



写真-6 美濃加茂IC付近の地質状況

性山地である。

地質は、瑞浪層群の凝灰角礫岩が分布し、凝灰角礫岩の角礫は最大径で20cm程度であり、中心径は10～40mmとなっており、一部で炭化木を混入している。

マトリックスの固結度は低いが、亀裂が非常に少なく礫と密着しているため、岩自体の強度は低いが、切削が困難な岩質である。また、弾性波速度(VP)は3.0～3.4km/sec程度である。

5-2 島之洞地区の地質

島之洞地区の地形は、美濃高原の南東部に位置し、標高120～180m程度の山頂が緩斜面であるのに対し、山腹が急斜面である丘陵性山地である。

地質は、瑞浪層群（蜂屋累層）の凝灰角礫岩が分布している。凝灰角礫岩の角礫は最大径で80cm程度であり、中心径は50～100mmである。礫自体は、様々な形状・組織・色調を呈しているが、安山岩質であり、異種岩片は混在しない。



写真-7 島之洞地区の地質状況

5-3 岩質調査

建設省の土及び岩の区分は、土質及び地質の説明に加えて、摘要欄に地山弾性波速度が示されており、この中で、地山弾性波速度は、軟岩が700～2,800m/sec、中硬岩が2,000～4,000m/sec、硬岩が3,000m/sec以上とされており、それぞれの境界領域はお互いに重なり合っている。

美濃加茂IC付近に分布する凝灰角礫岩は、地山弾性波速度は3.0～3.4km/sec程度であるとさ

れるが、一軸圧縮強度は数100kgf/cm²程度であり、マトリックスは軟岩である。

そこで、凝灰角礫岩を対象とした岩質調査を行い、軟岩と中硬岩の判定を行った。岩質調査は、地山弾性波速度に加えて、現地におけるリップニング試験、室内岩石試験を行い総合的に判定することとした。

その結果、

- 1) リッピング試験については、44T級ブルドーザの基本作業量(Qd)176.6m³/hrに対して、実砕岩能力は6.54m³/hr (3.7%)であった。よって、中硬岩以上の岩質と判定される。
- 2) 地山弾性波速度については、平均値が3,475m/secであった。これは土木工事共通仕様書の土および岩の分類表から、軟岩の領域(700~2,800m/sec)を上回り、中硬岩の領域(2,000~4,000m/sec)に入る。
- 3) 室内力学試験については、一軸圧縮強度が平均298kgf/cm²、超音波伝播速度(VP)が平均3,700m/secであった。また、亀裂係数(Cr)は0.12であり、亀裂係数と一軸圧縮強度との関係、及び、亀裂係数と超音波伝播速度との関係より硬岩の領域に入る。
- 4) これらを総合して、リップ試験で対象にした凝灰角礫岩は、中硬岩と判定した。

5-4 岩盤掘削工法の検討

掘削工法については、掘削土量と工期、凝灰角礫岩の性状、周辺環境(振動、騒音、粉塵、飛石等)を考慮して選定する必要があるが、一

表-4 掘削工法の検討

工 法	作業内容	使用機械	日当たり 作業量 (m ³ /日)	施工単価 (円/m ³)
大型ブレーカ工法	掘削	大型ブレーカ1.3t級	41	2,700
	積込み	バックホウ1.0m ³ 級	440	
火薬併用リップ掘削工法	発破	クロードリル150kg級	190	1,700
	リップ・表土	リップ付きブルドーザ32t級		
	小割	大型ブレーカ1.3t級		
	積込み	バックホウ1.0m ³ 級	440	
予備発破工法	発破	クロードリル150kg級	190	2,000
	リップ・表土	リップ付きブルドーザ44t級		
	小割	大型ブレーカ1.3t級		
	積込み	バックホウ1.0m ³ 級	440	
衝撃式リップ工法	掘削・集土	衝撃式リップ付きブルドーザ60t級	230	2,200
	小割	大型ブレーカ1.3t級	(41)	
	積込み	バックホウ1.0m ³ 級	275	
大型岩盤切削工法	掘削・積込み	大型岩盤切削機130t級	550	4,900
	小割	大型ブレーカ1.3t級	-	

般的な適用条件から考えると、発破掘削工法が適用可能である条件(美濃加茂ICでは民家が近くになく、現場と一般家屋との離れが約200m)である。

掘削工法の選定について、発破工法と、大型ブレーカーによる砕岩、衝撃式リップによる起砕、大型路面切削機による切削の4工法を比較検討して選定した。

なお、日当たり作業量は、各工法とも機械1台当たりの作業量である。また、大型岩盤掘削機はベルトコンベアを搭載し、ダンプトラックに直接ずりを積み込みできるため、経済性の比較では他工法に積み込みの費用を加算する。

その結果、掘削能力、経済性、安全性、周辺環境への影響を総合的に判断して、予備発破掘削工法を採用することにした。

なお、予備発破掘削工法の薬量、削孔深さ、削孔間隔等については、試験発破を行い、周辺環境への影響と、凝灰角礫岩の割れ目の状況等より決定した。

また、島之洞地区についても、基本的には予備発破掘削工法により掘削し、民家が近い(100m以内)箇所では、大型ブレーカーによる機械掘削で行った。

6. おわりに

東海環状自動道の事業概要について述べてきたが、現在、関市より東回り区間(関~豊田)については重点投資を実施し、2005年の中部新国際空港や愛知万博を支援するため、一般有料道路事業による整備を行う予定である。

また、工事施工については、関係機関の協力のもと、安全とコスト縮減に配慮し、一日も早い開通を目指して努力していく所存であり、今後とも関係各位のご理解とご協力をお願いしたい。

土中の溶質移動に関する可動・不動水モデルの適用とパラメータ評価

岐阜大学

佐藤

健／碓井 洋介／柴田 雅夫

信州大学

棚橋 秀行

1. 溶質移動における流れ場の考え方

土中における可溶性の汚染物質の挙動に関する研究は、流れ場の考え方によって2つに大別される。土中の水は全て動いていると考えるもの（可動水モデル、以下、Mモデルと呼ぶ）、もうひとつは、土中には動く水（可動水）と動きにくい水（不動水）が存在すると考えるもの（可動・不動水モデル、以下MIMモデルと呼ぶ）である。砂のような粒状材料における物質の移動現象はMモデルで概ね記述でき、分散係数や遅れ係数などの輸送現象を記述する特性値は室内カラム試験から的確に推定することができる。粘土や火山灰土などは、間隙径分布を特徴付ける土粒子構造が砂のような粒状材料に較べ大変複雑である。このような土質では、粘土粒子が単独で存在することは少なく、通常は複数個集まって団粒構造（ベッド）を形成することが多い。このような土における間隙は、団粒内細間隙と団粒間粗間隙の二重構造で特徴付けられ、団粒構造の発達した土における物質の移動は、①溶質の早期破過、②テーリングという形で、破過曲線の中にその特徴が顕著に現れる。団粒構造の土に対してMモデルを適用し、流れ場の非均質性を分散現象に含めて溶質の移動現象を表現する考え方も時々採用される。しかし、除染時に効果判定目標になかなか汚染濃度が低減しない現象や、汚染の拡大が予想しない早さで進行する現象などを正確に追跡するには、土中の流れ場の特徴を正確に記述した物質移動モデルを下敷きにして検討することも必要である。MIMモデルは間隙水を動く水と動かない水に区分して、火山灰土などに見られる流れ場の二重構造を物質移動モデルの中に反映したもの

である。

土中水の実質的な挙動については不明の点も残されており、間隙中の不動水の形態や位置によっていろいろな考え方が提案されている。Skopp and Warrick¹⁾は土粒子全体を包む膜が不動水であり、分子拡散が可動水・不動水間の溶質移動の駆動力となると考えた。Hiester and Vemeulen²⁾は土粒子全体を包む膜と団粒内細間隙の水の両方が不動水であると考え、溶質は可動水と膜状不動水、膜状不動水と団粒内不動水の間を分子拡散によって移動すると考えた。Van Genuchten and Wierenga³⁾は不動水を間隙中の流れない部分の水と考え、不動水と可動水との間の物質移動における時間遅れがテーリングの主因と考えて溶質移動現象を記述した。

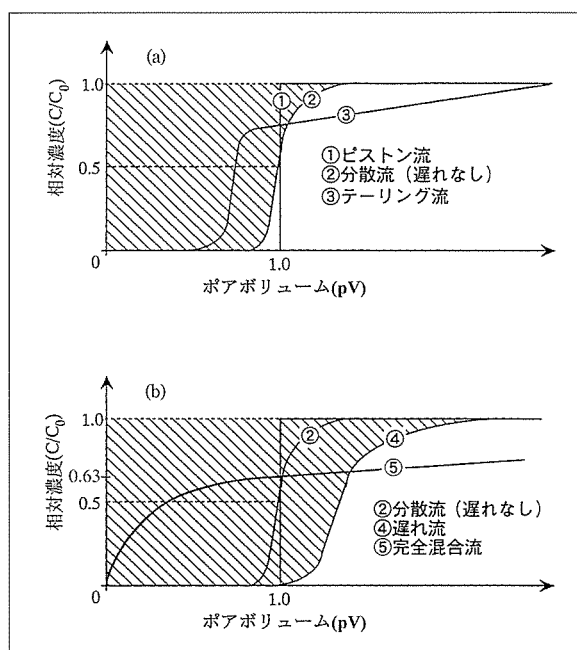
MIMモデルの適用にあたっては、土中水を可動水と不動水に領域区分する必要がある、可動水の存在割合（ ϕ ）や土粒子が可動水に接触する質量割合（ f ）も流れ場を特徴付けるパラメータとして、対象土質毎に予め決める必要がある。今のところ、カラム試験から得られる流出破過曲線の特徴から推定する以外に適当な方法は見当たらない。したがって、実際の汚染土に対して、MIMモデルの特性値をどのような試験で決めるのか不明なこともあり、MIMモデルを実際の汚染問題に適用した事例はまだ見あたらない。本報告では、Mモデルの結果とも比較しつつ、破過曲線に現れるMIMモデルの特性を紹介し、室内カラム試験から得られる破過曲線の解析に基づいたパラメータ評価について報告する。カラム試験で得られる破過曲線には溶質が通過したカラム土層の流れ場の特徴が反映される。したがって、カラム試験の破過曲線を詳細

に解析することによって、MIMモデルの流れ場の状態と物質輸送に関するパラメータは正確に推定できる。

2. 流出破過曲線に見られる流れ場の特徴

土中の溶質移動特性を調べるために、通常は、円筒容器に対象土を充填し、問題溶液を土柱上端に流入させ、下端から流出する溶質濃度の経時変化を計測するカラム試験が行われる。カラム試験では、カラム下端で得られる流出曲線（流量と濃度の関係曲線で、破過曲線と呼ぶ。）を詳細に調べて、溶質移動の特性を解明することになる。破過曲線を詳細に調べる作業の最終ゴールは、流れ場を移動する溶質の動態（濃度の経時変化）に一致する物質移動モデル（3.で述べる混合置換モデル）を選び出すことである。分散係数などの物質移動の特性値は、カラム試験で得られる流出曲線に一致する物質移動モデルを下敷きに推定することになる。したがって、破過曲線は土中の物質移動特性を知るための基本的な試験結果であり、破過曲線の解釈は地盤・地下水汚染の機構説明や除洗対策を考える上で極めて重要になってくる。しかし、カラム試験が土質試験として馴染みが薄いこともあり、汚染問題の定量評価を行う時に重要な分散係数などの特性値を、試験を実施せず、文献値を流用したり仮定値を用いたりして解析し、評価を行っている例もある。

カラム試験で計測される破過曲線の典型例を図一1(a)、(b)に示した。縦軸は相対濃度（原水濃度に対する流出水濃度の比で以下、 C/C_0 で表す）、横軸はポアボリューム（pV）である。土層上端に溶質が流入した時点を基準に試験結果を整理するので、1pVの位置はカラム土層に存在した初期間隙水が流入溶液で完全に置換された時点を示している。横軸は、pVの他に、流出流量（q）や時間（t）をとることもある。通常のカラム試験では、定常透水場に対する溶質移動を調べるので、qもtも意味合いは同じである。



図一1 カラム試験で得られる破過曲線

ダルシー則が適用できる理想的な流れ場では、速度分布に基づく分散（機械的分散）がないので、①のピストン流れになる。間隙速度に差がある場合には、分散現象が発生し、②の破過曲線になる。土粒子と溶質の間に物理・化学的作用がなければ、1pVに対する C/C_0 はおおよそ0.5になる。このことは、カラム下端で流出水の溶質濃度を計測したとき、平均濃度が時間的に徐々に変化し、変化の程度はピークを挟んでほぼ対称になることを示している。破過曲線と $C/C_0=1$ で囲まれた面積（図一1(a)のハッチを付けた部分）は、カラム土層内の溶質量を表し、溶質と土粒子の間に吸着・吸収現象などの物理・化学反応のない場合、その面積は1.0になる。溶質が土粒子に吸着・吸収されたりする場合には、破過曲線と $C/C_0=1$ で囲まれた面積は1より大きくなる（図一1(b)の④）。土粒子に吸着された溶質量は、破過曲線と C/C_0 の面積から1.0を差し引くことで推定できる。団粒構造が発達した土質は土中水に流れやすい所と流れにくい所があるので、流れやすい所を経由した溶質がカラム下端に素早く流出するので相対濃度0.5に対するpVは1.0より小さくなり、③の破過曲線になる。横軸のpVの評価が③の場合には問題になる。

溶質と土粒子の間に吸着・吸収現象がない時でも、遅れ現象（④の吸着による遅れ流と区別してテーリングと呼ぶ）が顕著に表れるのも③の特徴である。

さて、団粒土に対するカラム試験の結果から得られる破過曲線の特徴として、一般的に、

- ① 溶質の早期破過（ポアボリューム $pV=1$ より小さい流出量で相対濃度 C/C_0 が0.5に達する現象）、
- ② 置換がスムーズに進行しない（相対濃度1.0に達するまでに要する pV が大きくなる）、

などの傾向が知られている。こうした破過曲線に現れる特徴に対しては、Mモデルによる記述では不十分であり、MIMモデルの適用を考える必要がある。

3. MIMモデルにおける流れ場の考え方

混合置換を表現する一次元の移流分散方程式は次のように導出される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \frac{\partial C}{\partial z} \quad (1)$$

ここで、 C ：溶質濃度、 D ：分散係数、 z ：距離、 v ：間隙平均実流速（ $=q/\theta$ ）、 q ：ダルシー流速、 θ ：体積含水率

(1)式は土中水を全て可動水と考えているが、土中水を可動水と不動水に区分し、溶質移動を記述すると次式のようなになる。

ここで、各量の下付添字の m ：可動水、 im ：不動水、 α ：物質移動係数、 v_m ：可動水の平均実流速（ $=q/\theta_m$ ）

$$\begin{aligned} \theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} - \theta_m D \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} \\ - v_m \theta_m \frac{\partial C_m}{\partial z} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \alpha (C_m - C_{im}) \quad (3)$$

ここで、各量の下付添字の m ：可動水、 α ：物質移動係数、 v_m ：可動水の平均実流速（ $=q/\theta_m$ ）

(2)、(3)式の溶質移動の構造は次のようにな

っている。間隙中に不動水（濃度 C_{im} ）と可動水（濃度 C_m ）が存在し、濃度差が存在する場合、その濃度差によって濃度の高い方から低い方へ物質移動が起こる。しかし、物質移動は瞬時に行われず、不動水と可動水の濃度変化に時間的遅れが発生する。式(2)、(3)は、この時間遅れによってテーリングを表現している。Van Genuchten ら³⁾は土粒子への吸着反応の影響を考慮して(2)式を(4)式のように改良した。

$$\begin{aligned} \theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} + f_{pd} \frac{\partial S_m}{\partial t} + (1-f) p_d \frac{\partial S_{im}}{\partial t} \\ = \theta_m D \frac{\partial^2 C_{im}}{\partial z^2} - \theta_m v_m \frac{\partial C_m}{\partial z} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 ρ_d ：土の乾燥密度、 S_m ：可動水と接している部分の単位土質量当たりの吸着量、 S_{im} ：不動水と接している部分の単位土質量当たりの吸着量、 f ：可動水と接している部分の土全体に対する質量比

(3)式にも同様に吸着反応の影響を組み込み、吸着量 S と溶質濃度 C の間にヘンリー型吸着平衡 $S=k_d C$ が成立することを仮定して、次のようなMIMモデル（以下、Two-Regionモデルと呼ぶ）の基礎式を導出した。

$$\begin{aligned} (\theta_m + f p_d k_d) \frac{\partial C_m}{\partial t} + [\theta_{im} + (1-f) p_d k_d] \frac{\partial C_{im}}{\partial t} \\ = \theta_m D \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - \theta_m v_m \frac{\partial C_m}{\partial z} \end{aligned} \quad (5)$$

$$[\theta_{im} + (1-f) p_d k_d] \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \alpha (C_m - C_{im}) \quad (6)$$

ここで、 k_d ：固液分配係数

(5)、(6)式で表現される溶質移動の特徴を図-2 (P.31) に示した。図中の $\phi = \theta_m/\theta$ は土中水全体に対する可動水の存在割合である。不飽和土の場合は空気も存在するが、溶質の移動・吸着反応には空気相は無関係と考えて、物質の輸送現象を記述している。図-2によって、可動水と不動水の濃度差によって物質移動が起こり、各領域の間隙水に接する土粒子部分（可動水と接触する質量比を f で表現）に溶質が吸

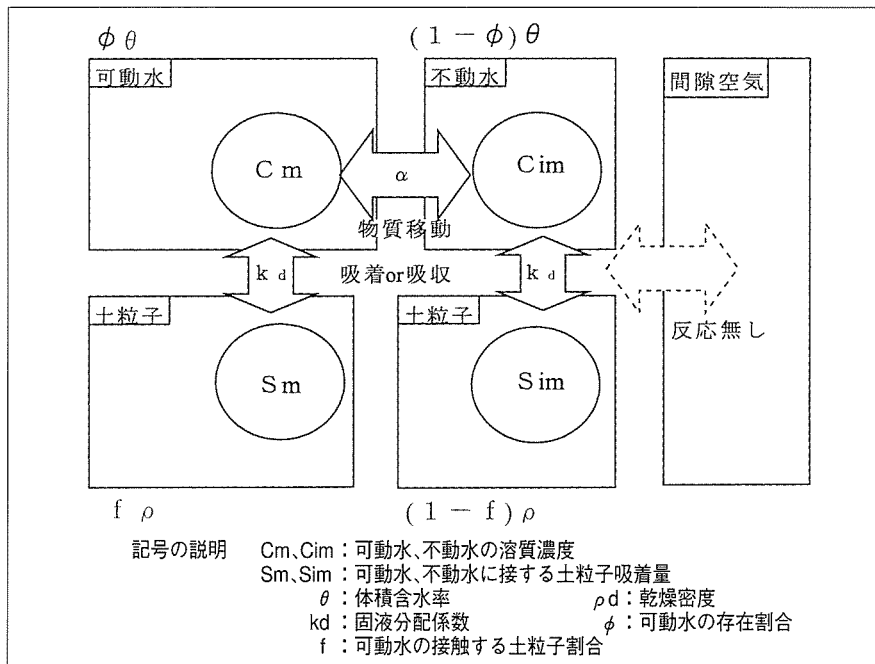


図-2 MIMモデルにおける流れ場と溶質移動の構造

着・吸収されるMIMモデルにおける溶質移動の基本構造がよくわかる。

MIMモデルで表現される溶質移動現象を実地盤で応用するには、移動現象を特徴付ける D 、 k_d 、 α 、 θ_m 、 θ_{im} の各パラメータ（図-2参照）を予め決める必要がある。しかしながら、 k_d 以外、パラメータの効果的な決め方は見あたらず、カラム試験で得られる破過曲線とMIMモデルの計算結果をフィッティングさせながら決める以外に今のところ効果的な方法はない。パラメータ推定に役立つように、van Genuchtenら³⁾は次のような(7)～(10)式の4つの無次元量を定義するとともに、 $c_m = C_m/C_0$ 、 $c_{im} = C_{im}/C_0$ (C_0 : 原水濃度)、 $Z = z/L$ 、 $T = v_{mt}/L$ として溶質濃度(C_m 、 C_{im})、距離(z)、時間(t)も無次元化し、解析解を誘導した。

$$\omega \text{ (スタントン数)} = \frac{\alpha L}{v_m} \quad (7)$$

$$\beta \text{ (吸着平衡時における可動水中の溶質の存在割合)} = \frac{\theta_m + p_d k_d}{\theta + p_d k_d} \quad (8)$$

$$Pe \text{ (ペクレ数)} = \frac{v_m L}{D} \quad (9)$$

$$R \text{ (遅延係数)} = 1 + \frac{p k_d}{\theta} \quad (10)$$

(7)～(10)式の無次元パラメータ(ω 、 β 、 Pe 、 R)と無次元カラム長 $Z=1$ を既知量として与えると、相対濃度(c_m 、 c_{im})が無次元時間(T)の関数として得られる。カラム下端から流出するのは可動水であるので、解析解による相対濃度 c_m を追跡すれば、カラム実験で得られる破過曲線上に現れるMIMモデルの特性値を評価することができる。

4. Mモデル、MIMモデルによる破過曲線

$Z=1$ のカラムの一端に相対濃度 $C/C_0=1$ の溶液を流し続けたとき、他端における流出破過曲線をMモデルとMIMモデルで計算し、可動水の存在割合(ϕ)によって破過曲線の形状がどのように変化するのか調べた。図-3 (P.32) (a)に $\beta=0.8$ 、図-3(b)に $\beta=0.5$ 、図-3(c)に $\beta=0.2$ の結果を示した。先述の(8)式からもわかるように、 β が確定しても ϕ は決まらない。ここでは、 $\phi=f$ と考えて、可動水の存在割合を推定した。分散係数 D はMモデルとMIMモデルで同じ値を用いた。土粒子への吸着・吸収の現象は考えないことにする。

図-3のMIMモデルによる結果は、①可動水の存在割合が少なくなるほど（不動水の割合が増えるほど）溶質の早期破過の現象が顕著に現れ、②可動水と不動水間の物質輸送量（図-3の ω ）が大きくなるほど、混合置換がスムーズに進行しない、など、MIMモデルにおける溶質移動現象の特徴をよく再現している。Mモデルによる破過曲線は、いずれも $pV=1$ の時に $C/C_0=0.5$ を通過する。可動水の存在割合が大きいときにはMモデル、MIMモデル、ともに同じような破過曲線を示すが、可動水の割合が小

さくになると、MモデルとMIMモデルの乖離は大きくなることもよくわかる。

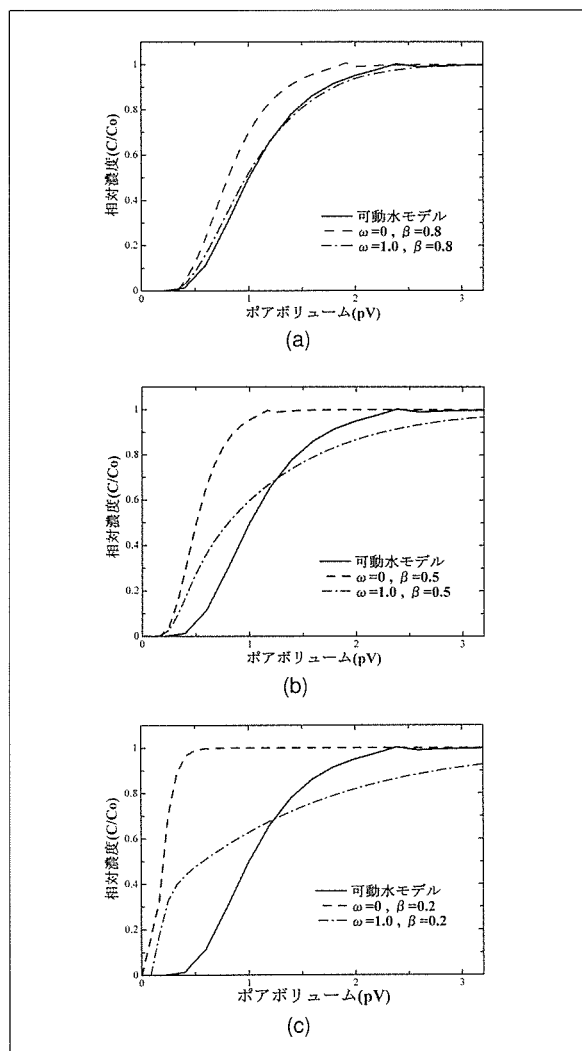


図-3 (a)、(b)、(c)MIMモデルが示す破過曲線

5. 火山灰土への適用

5-1 カラム試験と試料の物理的性質

カラム試験装置を図-4に示した。内径5cm、長さ23cmの透明アクリル製カラムに試料土を一定の充填密度 (1.22g/cm^3) になるように気泡を除いて充填した。カラムに水道水を流して定常流れ場を最初に作り、定常状態を確認後、NaCl溶液 (濃度 C_0) を流し、カラム下端における流出濃度 (C) の経時変化 (破過曲線) を記録した。塩素イオンの濃度計測は硝酸銀滴定法で行った。実験では、流速、

カラム長、溶質濃度を変えた表-1の条件を設定した。

試料土として用いた鹿沼土は、土粒子密度 $\rho_s = 2.67\text{g/cm}^3$ 、比表面積 $AS = 145\text{m}^2/\text{g}$ 、(豊浦砂の比表面積は $0.34\text{m}^2/\text{g}$)、団粒径 $0.8 \sim 2\text{mm}$ であった。なお、鹿沼土の有機炭素含有量はゼロであった。

鹿沼土を一定密度 ($\rho_d = 1.22\text{g/cm}^3$) に充填後、脱気水を注入し真空ポンプをつかって約一日、脱気を続けた。実験終了後の含水比計測から飽和度を推定すると、いずれの実験も $S_r = 70\%$ 前後となり (表-1参照)、団粒内のマイクロ間隙内に閉じ込められた空気を完全には除去できなかった。

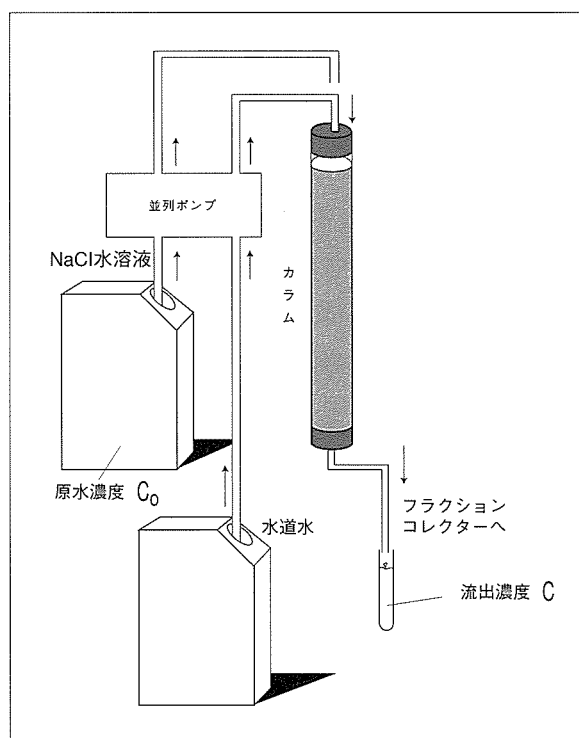


図-4 室内カラム実験装置

表-1 実験条件

実験名	カラム長 (cm)	ダルシー流速 (cm/min)	NaCl濃度 (g/l)	飽和度 S_r (%)
Ex. 1	20	0.422	1.648	67.6
Ex. 2	20	0.051	1.648	67.6
Ex. 3	11	0.224	1.648	86.5 *
Ex. 4	40	0.224	1.648	68.0 *
Ex. 5	30	0.224	1.648	67.6
Ex. 6	55	0.224	1.648	66.2
Ex. 7	20	0.224	0.165	66.1
Ex. 8	20	0.224	16.48	68.8
Ex. 9	20	0.224	1.648	72.5

*はMIMモデルの無次元パラメータを的確に推定できなかった実験例

5-2 パラメータの推定

(1) 遅延係数(R)

遅延係数Rは(10)式で定義され、固液分配係数Kdは次式で与えられる。

$$k_d = \frac{q}{C_0} \quad (11)$$

q：カラム中の土1あたりに吸着しているCl⁻の質量 (mg/g)、C₀：原水濃度(mg/cm³)

qは(12)式で算定できるので、カラム試験の結果を用いてKdは推定できる。

$$q = \frac{\Sigma M_i - M_c}{M_s} \quad (12)$$

ΣM_i：流出しなかったNaCl水溶液の質量、M_c：間隙中のNaCl質量、M_s：鹿沼土の乾燥質量

算定された固液分配係数 (k_d) と遅延係数 (R) の値を表-2に示した。

EX2、3、4を除き、固液分配係数 (k_d) は0.8～0.9の値をとり、遅延係数 (R) も試験条件によらず、ほぼ一定の値となった。カラム長さが

大きくなるほどRは大きくなり、また原水濃度には依存せずほぼ一定のRが得られた。

(2) フィッティングによる破過曲線の解析

カラムから流出するのは可動水で、解析解として得られた相対濃度c_mとカラム試験から得られた破過曲線をフィッティングすれば、R以外の3つの無次元パラメータ (ω、β、Pe) を推定することができる。フィッティングは、計測値と解析解の二乗誤差を修正マルカート法で最小化する方法で行った。EX5に対するフィッティングの結果を図-5、全実験ケースに対するパラメータの推定結果を表-3に示した。

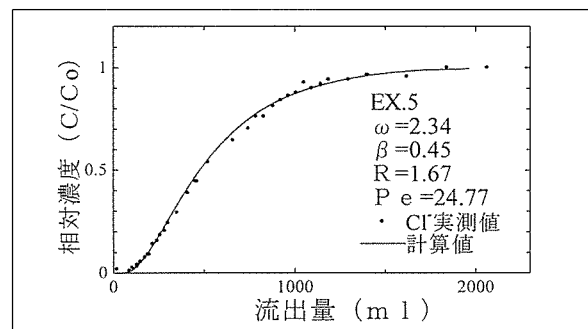


図-5 MIMモデルによるフィッティングの結果

表-2 実験条件と固液分配係数(k_d)・遅延係数(R)

EX	ダルシー流速 (cm/min)	カラム長 (cm)	原水濃度 (g/l)	固液分配係数 k _d (g/cm ³)	遅延係数 R
1	0.423	20	1.648	0.798	1.64
2	0.051	20	1.648	1.227	1.98
3	0.224	11	1.648	1.053	1.48*
4	0.224	40	1.648	1.051	1.8*
5	0.224	30	1.648	0.886	1.67
6	0.224	55	1.648	0.985	1.89
7	0.224	20	0.165	0.842	1.77
8	0.224	20	16.48	0.816	1.68
9	0.224	20	1.648	0.847	1.64

表-3 パラメータの推定結果

EX	スタントン数 ω	可動水中の溶質 の存在割合 β	遅延係数 R	ペクレ数 Pe	物質移動係数 α (l/min)	分散係数 D(cm ² /min)
1	3.45	0.43	1.63	26.2	0.345	1.529
2	1.85	0.59	1.71	38.85	0.016	0.106
5	2.34	0.45	1.67	24.77	0.075	1.261
6	1.93	0.58	1.89	39.01	0.028	1.140
7	1.66	0.53	1.78	19.44	0.073	0.911
8	4.15	0.55	1.68	10.22	0.170	1.608
9	3.02	0.54	1.64	13.59	0.120	1.173

5-3 実験条件との関係

(1) ペクレ数 (Pe)

ペクレ数は(9)式で定義されるので、実験条件を考慮して分散係数と実験条件の関係を求め、図-6(a)~(c)に示した。分散係数はカラム長にそれほど依存せず、流速に強く依存し、流速が増すほど分散係数は大きくなる傾向が認められた。流速が早くなるほど溶質の分散が大きくなる傾向は、Mモデルの適用から推定される傾向と同じであり、流れ場の構造が違って、間隙実流速が早くなるほど間隙各部の速度分布の非均質性が増し、機械的分散が大きくなるものと理解された。

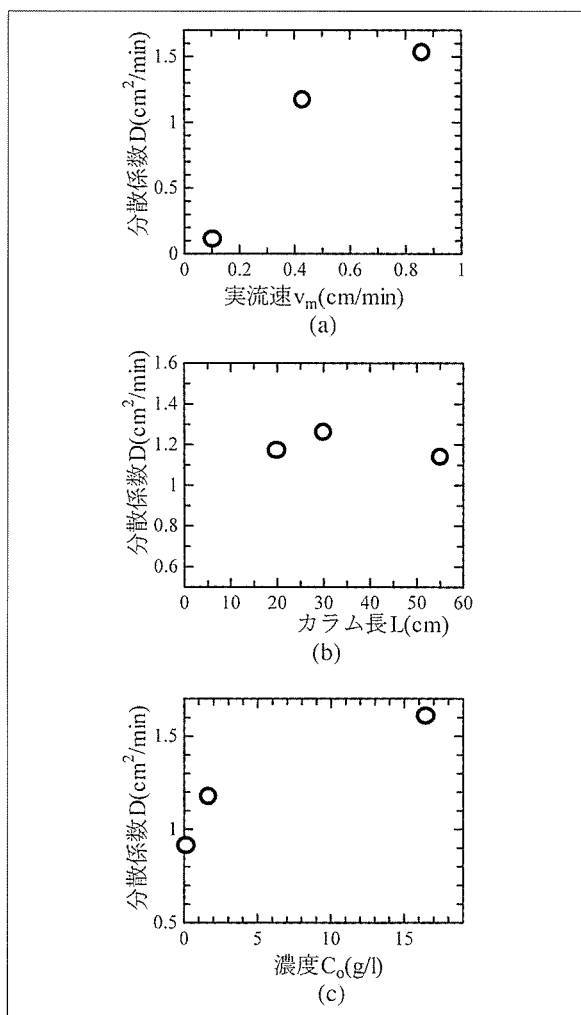


図-6 (a)、(b)、(c)分散係数と実験条件の関係

(2) 吸着平衡時における可動水中の溶質の存在割合 (β)

実験条件と β の関係を図-7(a)~(c)に示した。原水濃度、カラム長と β の間に明瞭な関係は認められないが、実流速との間に一定の傾向が認められ、実流速の増加に伴って β は減少する傾向が得られた。(8)式の β には可動水の存在割合 ϕ と可動水と土粒子の接触分率 f が含まれる。 $\phi = f$ と考えると、 β は可動水の存在割合 ϕ を示すことになる。実験では、定流量ポンプによって流入量と流出量を一定値にコントロールしている。したがって、実流速は可動水領域の変化で制御することになり、実流速の増加は可動水の流路面積の減少で達成しており、全水分量に対する可動水の割合 β が流速の増加とともに減少した結果が、 β と実流速の関係に表れたものと考えられた。

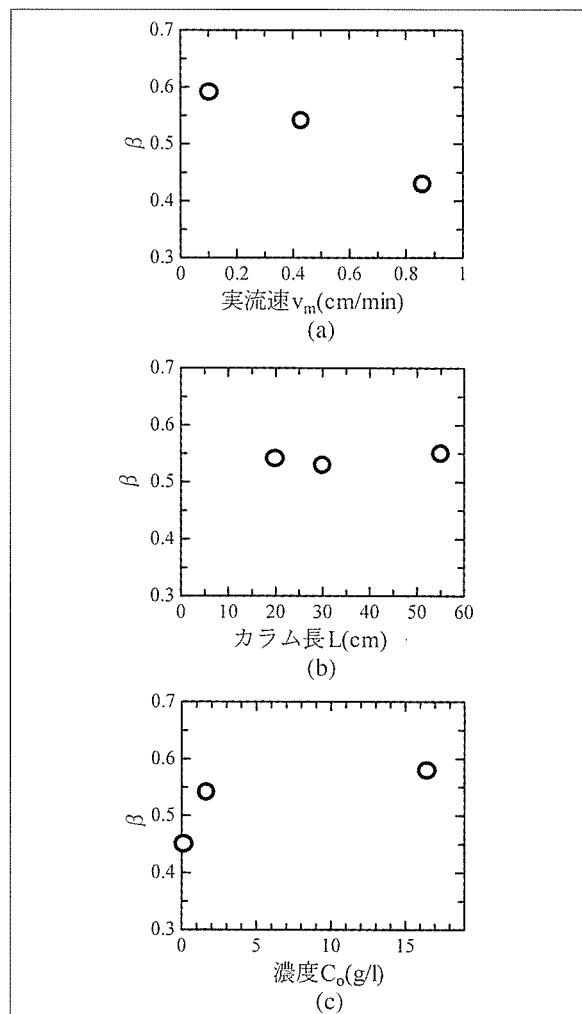


図-7 可動水の存在割合と実験条件の関係

(3) スタントン数 (ω)

スタントン数 ω は(7)式で定義されるので、物質移動係数 (α) と実験条件の関係を図-8(a)~(c)に示した。実流速の増加とともに物質移動係数 α が大きくなる傾向が認められた。これは、流速が増すほど不動水と接触する面積が広がり、可動水から不動水への物質移動の貢献が増加するからである。カラム長と原水濃度は、物質移動係数にそれほど大きな影響を与えないことも図-8の結果よりわかった。

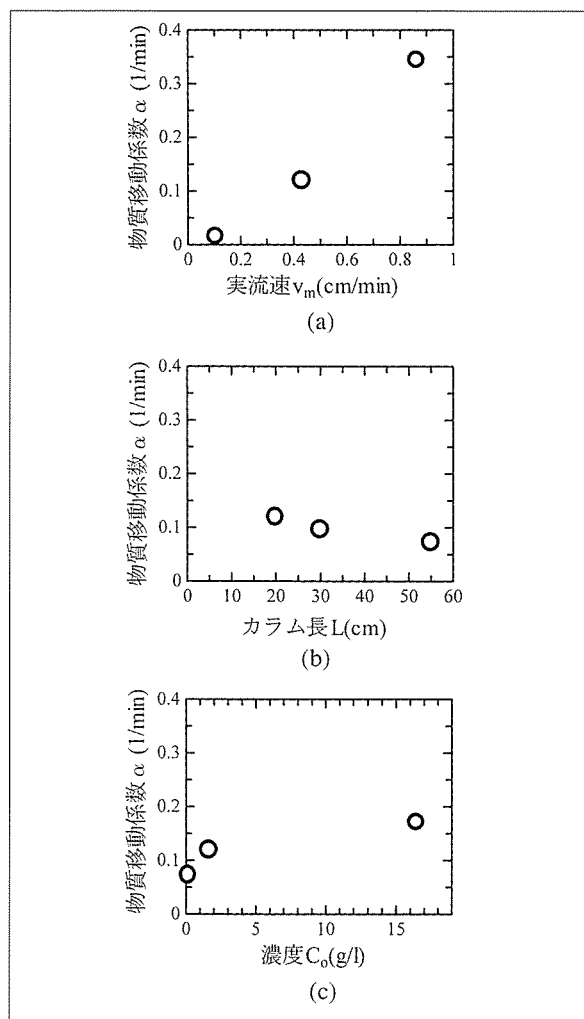


図-8 物質移動係数と実験条件の関係

6. おわりに

MIMモデルは、団粒構造が形成する細・粗間隙の土中水を可動水・不動水に領域区分し、流れ場の精密化を達成したもので、火山灰土や粘土、あるいは不飽和土における室内カラム試験でしばしば観察される①溶質の早期破過現象、

②テーリング現象、を正確に記述できる点に特徴がある。しかしながら、可動水の存在割合、可動水と土粒子の接触割合に関するパラメータの決め方は不明で、現在でもいろいろな試みが行われている⁴⁾。室内カラム試験の目的は、対象土質の流出破過曲線の導出と破過曲線に基づく最適な物質輸送モデルの探索にある。したがって、団粒構造の発達した土質であっても、室内カラム試験による破過曲線の計測とそれに基づく物質輸送モデルの解析によって、それらのパラメータは推定可能であると考えている。しかしながら、MモデルとMIMモデルの破過曲線の比較からもわかるように、流れ場の考え方によって幾通りもの溶質輸送の構造を考えることができ、土粒子構造によって影響を受ける間隙の空間的な分布と土中水の存在形態、流れ場の状態に対する深い理解が、物質移動を決めるためのパラメータ評価には不可欠である。鹿沼土を用いたカラム試験に対する破過曲線の解析結果を、MIMモデルの適用例として紹介したが、実験ケースが少なく、定量的な議論を行うまでには到達していない。今後さらに精度の高いデータの蓄積に努めるとともに、パラメータと実験条件との関係について考察を続ける予定である。

参考文献

- 1) Skopp, J., and A.W. Warrick (1974): A two-phase model for the missible displacement reactive solutes though soils, Soil Sci. Soc. Am. Proc., Vol. 38, pp. 544-550.
- 2) Hiester, N.K., and T. Vermeulen (1952): Saturation performance of ion-exchange and adsorption columns. Chem. Eng. progr., Vol. 48, pp. 505-516.
- 3) M. Th. Van Genuchten and P. J. Wierenga (1976): Mass transfer studies in sorbing porous media, 1. Analytical solutions, Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 40, pp. 473-480.
- 4) T. Zurnmuhl and W. Durner (1996): Modeling transient water and solute transport in a biporous soil, Water Resources Research, Vol. 32, No. 4, pp. 819-829.

学校教育における原位置試験への取り組み —スウェーデン式サウンディング自動貫入試験機の利用—

岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科／建設工学専攻科
助教授 吉村 優治

1. はじめに

産官学の積極的な交流が行われるようになってからかなりの時間が経過し、最近ではインターンシップの導入がなされるようになってきた。「インターンシップ」とは、大学や高専のような学校教育・研究機関に在学中の学生が、自らの専攻や将来のキャリアに関連した就業体験を行うものであり、主には長期の休みを利用した実務訓練、夏期実習等がこれに相当し、多くの学校で単位化されるなどすでに教育改革が行われつつある。本校でも、産官学交流会の実施や校外実習、特別実習の単位化は既に行われている。

これに対して、本校環境都市工学科および建設工学専攻科では、これまでは就業してからしか経験することのなかった原位置試験を授業の一環として学生に体験させる試みをしてきた。現在の土木・建設関係の学校教育機関では、複雑な地盤や土の性質を、教科書を用いた講義と代表的な試料による土質実験により教育しているのが実状であると思われる。そこで、本学科では、実地盤の複雑な構成や原位置試験結果の解釈の難しさを少しでも経験してもらために、地質調査関係の企業へ就職する学生のためばかりではなく、将来必ずや目にするボーリング柱状図の読み方や作り方をほんのわずかではあるが体験させることにしている。

本研究で使用したスウェーデン式サウンディング自動貫入試験機（日東精工(株)製のジオカルテ）の概略は図-1に示すとおりであり、試験はコンピュータ制御により自動化されている。この試験機は、分解した状態では1ブロックの質量が25kg以下と軽量であり、装置の取り

扱いおよびその操作方法が容易で迅速に測定ができ、試験中に個人誤差が全く入らない特徴がある。本校環境都市工学科では、この試験機を平成8年度に購入し、これまで環境都市工学科第5学年の計測実験および専攻科の建設工学実験で使用してきた。

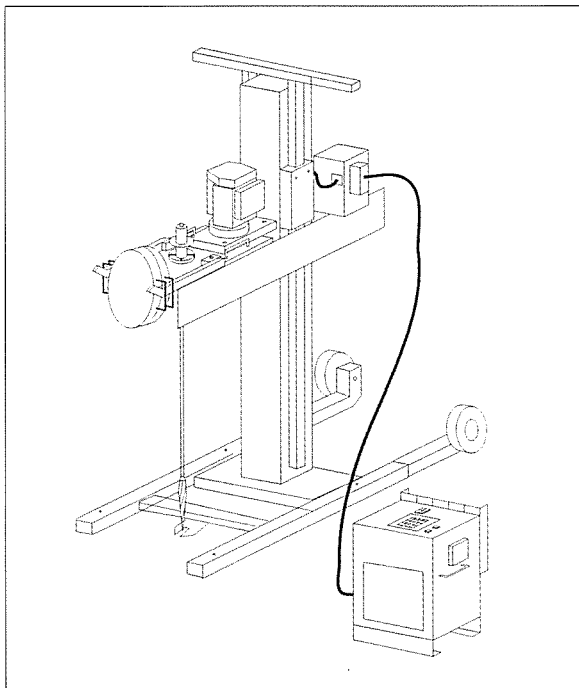


図-1 スウェーデン式サウンディング自動貫入試験機

スウェーデン式サウンディング試験は、ある程度の経験や熟練を必要とする原位置試験であるが、コンピュータ制御により自動貫入する試験機を用いることで、本校のような教育機関の学生実験・実習の一環としての野外試験として実施することが可能であると思われる。

そこで、本報告ではスウェーデン式サウンディング自動貫入試験機を導入した本学科での学生実験への取り組みを紹介し、その測定結果について若干の考察を加えたものである。

2. 試験機の特徴

従来の試験装置は、スクリーポイントをロッドの先に取り付け、これを地表に立てた後5～100kgfの分銅荷重をかけて、試験機の土中への貫入を測定し、さらに全荷重100kgfの分銅荷重をかけたままロッド頂部のハンドルを人力により回転しながら、一定回転数（例えば半回転数25回）における貫入量を測定して、地表からの深さとその位置における貫入抵抗を記録する必要があった¹⁾。この作業を自動化した実験装置が、ジオカルテであり、地盤上に所定のセッティングをした後、制御装置の操作のみで、前述の作業を自動的に行うことができる。また、地盤の貫入抵抗の度合いに応じて、5、15、25、50、75および100kgfの荷重を自動載荷・除荷させることが可能であり、従来の試験機に比べ、より精度の高い試験データを得ることができる。

ここで、本研究で使用したスウェーデン式サウンディング自動貫入試験機ジオカルテの特徴²⁾を要約すれば、

- ① 貫入ロッドの半回転数計測、自沈検出、それに伴う荷重の変更、試験データのプリントアウト、パソコンへの試験データの転送などをマイコン制御により正確に行うことが可能である。
 - ② 荷重の上下の移動、自沈時の荷重変更などをコンピュータ制御により自動で行うため、試験中のおもりの上げ下ろしが一切不要である。また、独自のチャック方式により、貫入ロッドの継ぎ足しを容易に行うことができるため、貫入試験の所要時間を大幅に短縮することが可能である。
 - ③ 軽量のビルドブロック構造のため、組立・分解が容易であり、狭い所や段差のある場所へも1人で運搬できる。
 - ④ 機高が低く倒れにくい構造となっている上、昇降部に落下防止ブレーキが備わっており、万一停電になっても安全である。
- なお、スウェーデン式サウンディング試験の

自動化の試みはこれまでも行われており、わが国に限ってもジオカルテの他に、筆者の知る限りだけで3機種が市販されている。しかしながら、回転だけが自動である、初期荷重が自重の40kgfである、本体の質量が400kg以上ある等々の問題があり、限られた利用者および試験目的にのみ有効であり、本研究で用いたスウェーデン式サウンディング自動貫入試験機のように1ブロックの質量が25kg以下と軽量で、地盤上に所定のセッティングをした後はロッドの継ぎ足しを除く全作業をコンピュータ制御で自動的に行うことのできる機械は皆無である。対象学生が毎年変わる本校のような教育機関では、安全が第一であり、さらには素人にも用意に扱えて測定値に個人誤差が入らないこと、運搬が容易であること等が肝要であり、これらは本学科が原位置試験用に自動貫入試験機ジオカルテを選択した最大の理由である。

3. 実験結果の利用

釈迦に説法になってしまうが、スウェーデン式サウンディング試験における測定値の強度換算については、次の報告があるので紹介しておく。

(1) N 値との関係

$W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値との関係は稲田³⁾により次の関係が提案されている。

・地質が礫・砂・砂質土の場合

$$N = 0.02 W_{sw} + 0.067 N_{sw} \quad \cdots \cdots (1)$$

・地質が粘土・粘性土の場合

$$N = 0.03 W_{sw} + 0.050 N_{sw} \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに、 W_{sw} ：100kgf以下で貫入した場合の荷重 (kgf)

N_{sw} ：回転により貫入させたときの貫入量1m当たりの半回転数 (回/m)

(2) 一軸圧縮強さとの関係

$W_{sw} \cdot N_{sw}$ と一軸圧縮強さ q_u との関係は稲田³⁾により次の関係が提案されている。

$$q_u = 0.0045 W_{sw} + 0.0075 N_{sw} \quad \cdots \cdots (3)$$

ここに、 q_u ：一軸圧縮強さ (kgf/cm²)

4. 実験結果および考察

4-1 貫入試験結果Ⅰ（予備試験）

試験日：平成9年度～平成10年度

試験場所：岐阜高専2号館～3号館間の中庭

本校環境都市工学科地盤研究室は2号館1階にあるため、分解してある試験機の各ブロックを中庭へ運び、組み立てて試験の準備をする。この中庭は数十cmのところに礫層があり、試験深度も50cm足らずと、スウェーデン式サウンディング試験の本来の目的である土の静的貫入抵抗の測定には不十分であるが、本試験はジオカルテの組立と操作方法の理解のための予備試験的な位置づけで行っている。図-2は2年越しの3点の試験結果である。3点の測定点は完全には一致していないが、計測点が数m程度は離れていることを考慮すれば、この図は試験結果の再現性を十分に示すものであると言える。

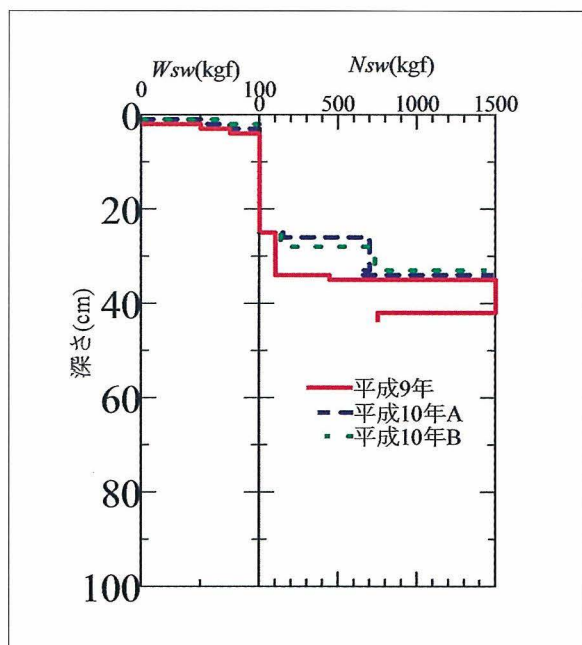


図-2 貫入試験結果Ⅰ（本校中庭）

また、初めてスウェーデン式サウンディング自動貫入試験機に接した学生が、説明書を見ながら試験機を組み立て、測定を行い、ロッドを引き抜くまでに要した時間は15分足らずであり、特筆すべき事項である（ただし、電源は校舎内から供給し、ロッドの継ぎ足しは行っていない。）。

4-2 貫入試験結果Ⅱ

試験日：平成9年度～平成10年度

試験場所：岐阜高専グラウンド（陸上競技場南端）

前述の4-1の予備試験を終えた後、組み立てたままの試験機を分解することなく約200m離れた場所に移動させて測定を行った。この場所はグラウンドの南端に位置し、数回のグラウンド改修の時にもほとんど手が着けられておらず、盲目暗渠も入っていない場所であり、地盤内には

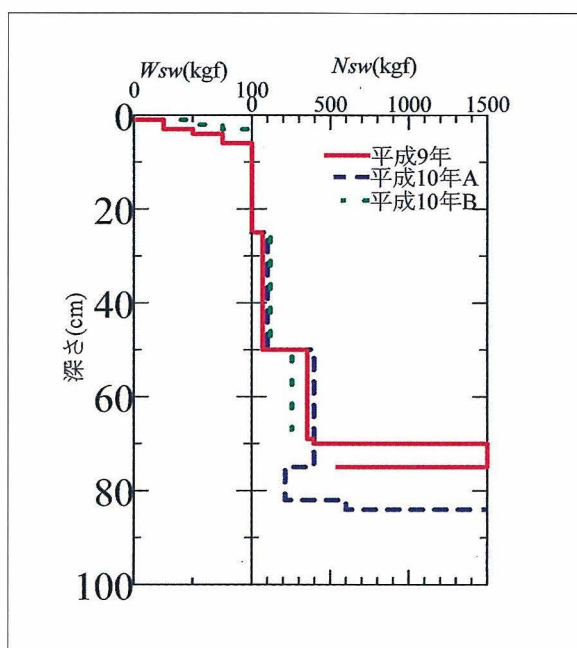


図-3 貫入試験結果Ⅱ（本校中庭）

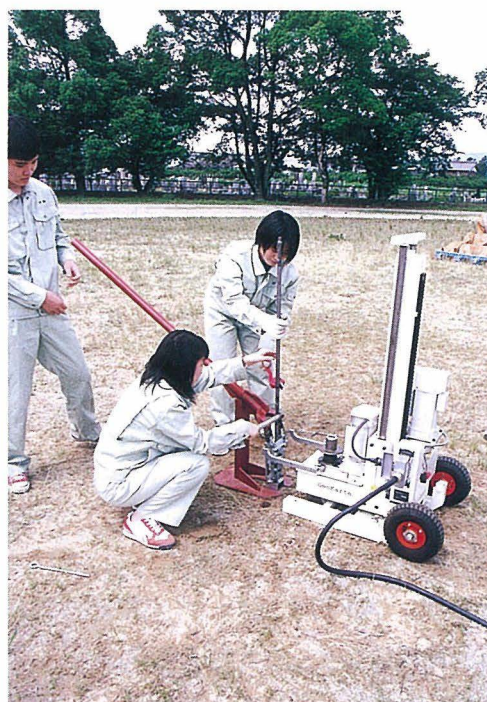


写真-1 学内での試験風景

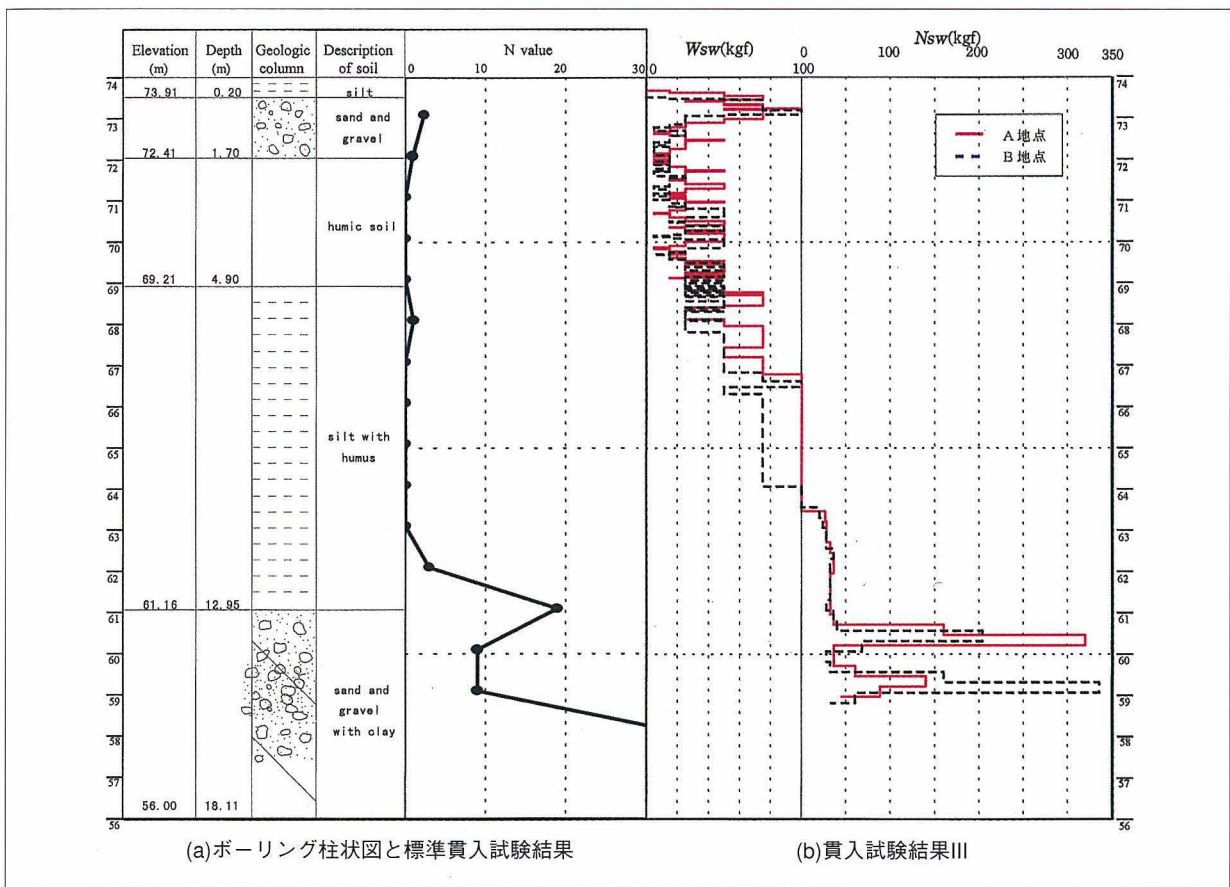


図-4 原位置試験結果 (岐阜県揖斐郡谷汲村深坂地区)



写真-2 原位置での試験風景1 (水準測量)

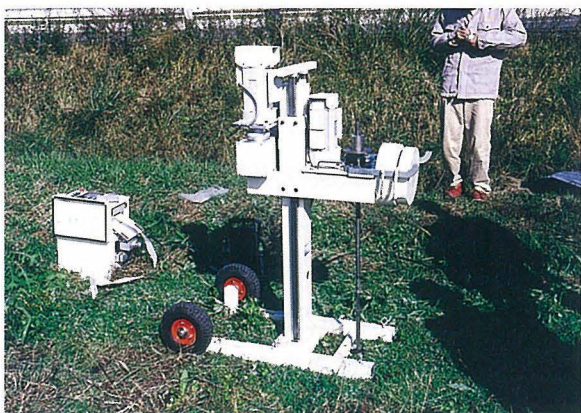


写真-3 原位置での試験風景2

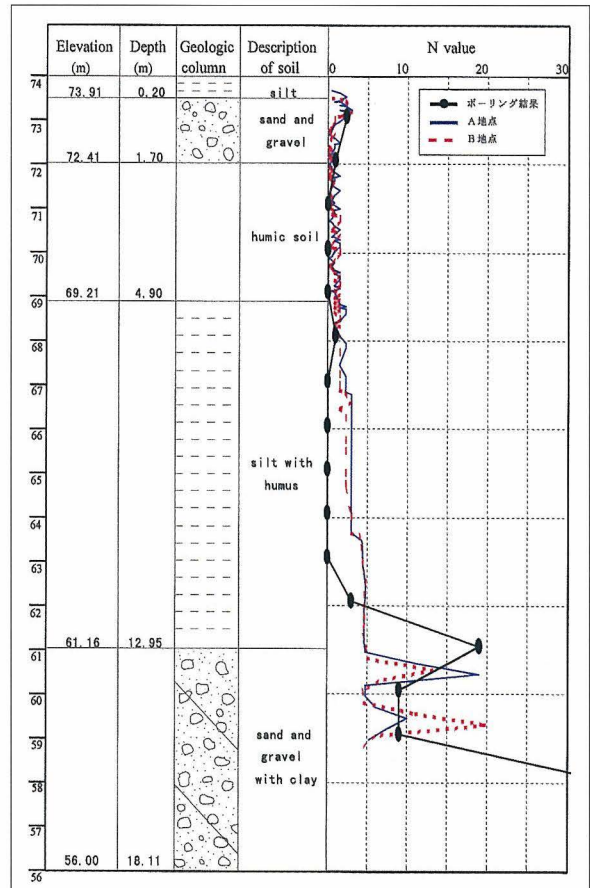


図-5 原位置のN値と換算N値の比較

粘土層も一部残っている。ここでの試験は、現場を意識し、電源はポータブル発電機（ガソリン）から供給した。図-3（P.38）は図-2と同様に2年越しの3点の試験結果である。この3点の測定点も完全には一致していないが、十数m程度は離れていることを考慮すれば、この図も試験結果の再現性を十分に示すものであると言える。測定に要した時間はロッド1本の継ぎ足しおよび引き抜きを含めても約20分であった。

写真-1（P.38）はその試験風景であり、試験は2～3名で、また女子学生でも十分に可能である。

4-3 貫入試験結果Ⅲ（原位置試験）

試験日：平成10年11月18日

試験場所：岐阜県揖斐郡谷汲村深坂地区
（軟弱地盤）

ブロック毎に分解した試験機とポータブル発電機を運搬用の軽トラックに積み込み、高専から車で約20分の岐阜県揖斐郡谷汲村深坂地区で原位置試験を実施した。測定員は学生4名であり、引率と運転手として3名が同行した。

試験現場はピートが厚く堆積する稲作水田地であり、岐阜県営圃場整備事業の一環として行われている整備事業のために既にボーリング試験が行われている（図-4（P.39）（a））。このボーリング地点の標高が測量されているので、写真-2のように水準測量を行い、試験場所の標高を求めている。試験は、このボーリング地点から十数m離れた場所で2回（数m離れたA地点、B地点）行っている。

なお、測定深度は本学科の所持しているジオカルテ用ロッド（75cm）が20本のため、14.75mである。図-4（P.39）（b）にこの試験結果を示しているが、柱状図あるいは標準貫入試験結果 N 値とよく対応しており、さらに詳細に観察すると、地層の変化を数cm単位で忠実に表しているのがわかる。周面摩擦等などのスウェーデン式サウンディング試験の適用限界を考慮すれば、14.75mまでの貫入測定で十分であると言え

るが、継足用ロッドが不足したことは多少残念であった。今後の機会には、ロッド本数を増やして、試験限界まで同一地点で再度測定を行いたい。

なお、現地に到着してからの試験時間は、試験機の組立、2回の試験および水準測量、試験機のトラックへの積み込みまでで約90分であった。これは、現場を往復する時間を含めても、本校環境都市工学科5学年の計測実験（90分×2コマ）、建設工学専攻科の建設実験（90分×3コマ）で十分試験が可能な範囲である。また、試験の全行程とも写真-3（P.39）のように学生1人でも十分可能であるが、本校では測定後のロッドの引き抜きに手動タイプのロッド引き抜き装置を使用しているので2名の人員確保が望ましい。

さて、この試験結果から式(2)を用いて換算 N 値を計算し、標準貫入試験の N 値とを比較したのが図-5（P.39）である。 N 値は、わが国のサウンディング試験から求まる地盤強度としては最も標準的なものであるが、この方法では測定の度にボーリング孔を掘り下げなければならず、一般には1m毎にしか測定ができないため、連続的な本試験に比べて非常にデータ数が少ない。また、自沈（質量63.5kg）によりサンプリングチューブが打ち込まれた場合の N 値は、その地盤の軟地盤の詳細な軟弱度を判定できない。

これに比べ、本試験では、地盤の貫入抵抗の度合いに応じて、5kgf、15kgf、25kgf、50kgf、75kgfおよび100kgfの荷重を自動的に載荷させることが可能であり、今回の貫入実験においても図-5に見られるように、連続的で非常に多くの、かつ標準貫入試験の N 値が0に相当する地層に関してもより細かな精度の良い地盤強度を得たと言える。

ただし、深度4.9～12.95mまでのシルト層に関しては標準貫入試験の N 値に対してジオカルテによる換算 N 値の方がやや大きめの値を示して

おり、これが深度の増加に伴い緩やかではあるが増加傾向にあることから、ロッドの周面摩擦等の影響を含んでいる可能性もある。また、稲田³⁾によるスウェーデン式サウンディング試験結果からN値への換算式は式(1)、(2)に示すように、地質が砂質土系と粘性土系の2種類しかないので、本報告ではこのシルト層の換算は式(2)を用いて換算している。両式を比較すれば明らかのように、ほとんど回転を加えることなく荷重のみで沈下するような場合の換算値は式(1)に比べ式(2)では50%程度大きな値を示すので、本試験ではこのシルト層を砂質土系と判断して、式(1)を使用するのが適当なのかもしれない。しかしながら、本来はスウェーデン式サウンディング試験では荷重と回転数、貫入時のスクリュウポイントと土との摩擦音の情報から換算N値を推定しなければならないので、今回のように標準貫入試験のN値や現場土質名を指標にすることはできない。自動貫入試験機ジオカルテのように高精度で信頼性が高い結果を得られるようになった現在、1960年以来使用されてきた稲田式³⁾を再検討する時期に来ているとも言える。また、地層種別毎程度にロッド長とその周面摩擦の関係を考慮できるようになれば、スクリュウポイントの強度と機械の性能を向上させることで、例えばN値30相当の地層の貫入が可能になり、本試験機が支持層の確認のために利用できることにもなろう。

5. おわりに

本報告では、スウェーデン式サウンディング自動貫入試験機ジオカルテを使用した本校での原位置での学生実験への取り組みを紹介した。その結果、自動貫入試験機を用いれば本校のような教育機関においても比較的簡単に原位置試験を行えることが示され、今後、本学科においても実験・実習、卒業研究、特別研究等において幅広い活用が期待される。しかしながら、本校では敷地内に数m貫入可能な適当な試験場所

が見つからないため、学外での本当の意味での原位置試験が必要であり、試験サイトの確保も課題の一つといえよう。

原位置試験という就学体験を学内で経験することがインターンシップと呼べるどうかは別としても、例えば、このような原位置試験のための試験サイトの提供、あるいは実際の試験現場見学の実入等、学校教育と業界の接点が身近にたくさんあることは間違いないと思う。

最後に、学生たちが真剣に取り組んだ授業風景である。写真-4（試験機の取扱いを聞く様子）、写真-5（実際に試験機を操作する様子）をお見せして、本報告の結びとしたい。



写真-4 試験機の取扱いを聞く学生たち



写真-5 実際に試験機を操作する学生たち

【参考文献】

- 1) 地盤工学会：地盤調査法，pp.213～220，1995.7.
- 2) 日東精工(株)Geokarteプロジェクト：自動貫入試験機Geokarte 取扱説明書，1997.2.
- 3) 稲田倍穂：スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について，土と基礎，Vol.8，No.1，pp.13～18，1960.2.

比抵抗映像法による 二次元電気探査の実例

東邦地水株式会社 三重支社
安藤 貴史

1. はじめに

地質調査の中には、ボーリング調査によって直接現地盤を確認する方法の他に、物理探査と呼ばれる調査方法がある。ボーリング調査は調査地の局所的な地盤情報しか得られないことに対して、物理探査は調査地全体の地盤情報を比較的短期間に得られることから、ボーリング調査の補足や調査地全体の概略を把握する目的で利用される機会が増えている。

物理探査には数多くの方法があり、測定する現象の形態によって探査方式を分類すると、自然的現象を測定する方式ものと、何らかの現象を人為的に発生させてその反応を測定するものに分けられる（図1-1参照）。

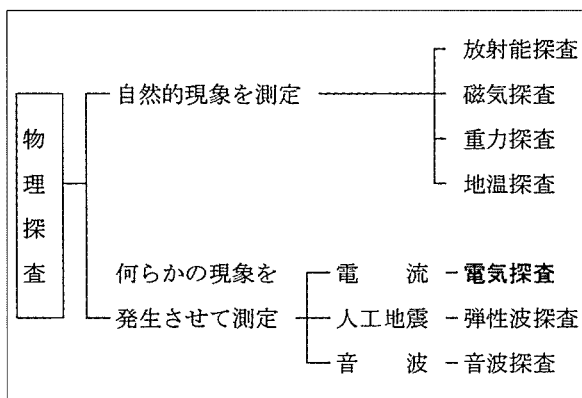


図1-1 代表的な物理探査の分類

2. 概要

2-1 工事概要

本工事は、三重県鳥羽市白木町から三重県二見町松下付近の伊勢二見鳥羽ラインまでの約7.6kmの区間の道路工事であり、区間内には4ヶ所のトンネルと4ヶ所の橋梁の建設が予定されている。このうち当社は、全長3,260mの第2号トンネルの概略調査を担当した。

2-2 調査概要

調査の内容は、地形地質踏査および屈折法弾性波探査、比抵抗2次元探査であり、数量詳細は表2-1～2-2に示すとおりである。また比抵抗2次元探査の使用機器一覧表を表2-3（P.43）に示す。

表2-1 弾性波探査数量表

測線	測線長 (m)	受信点 間隔 (m)	位 置	方 向
A 1	690	5	No.21～No.23+30	縦断
		10	No.23+30～No.27+90付近	
A 2	690	10	No.26+40～No.33+30付近	縦断
A 3	690	10	No.30～No.36+90付近	縦断
A 4	2100	10	No.33+50～No.52+30付近	縦断
		5	No.52+70～No.54+50付近	
B	115	5	No.21+60	横断
C	115	5	No.53+50付近	横断
計	4400			

表2-2 電気探査数量表

測線	測線長 (m)	探査深度 (m)	電極 間隔 (m)	測点数 (点)	位置・方向
A1	150	0～37.5	2.5	1191	No.21～No.22+50 縦断
	300	37.5～75	5		No.21～No.24 縦断
B	115	37.5	2.5	585	No.21+60 横断
C	115	37.5	2.5	585	No.53+80 横断
A4	230	0～37.5	2.5	1559	No.52+20～No.54+50 縦断
		37.5～75	5		
計	910			3920	

表2-3 電気探査機器一覧表

機 種	性能・型状	台数	製造メーカー
測定器 マックオーム 2115型	分解能20 μ 50/60Hz ノッチフィルタ スタッキング機能	1台	応用地質(株)
デジタル オシロスコープ	2ch	1台	TEKTRONIX
切替えボード	120ch 手動切替	1台	
観測線	20ch (3.5m間隔) 最大電流800mA 流電可能	6巻	
中継線	50m用 100m用	2巻 2巻	
電 極	銅製アース棒 ステンレス丸棒 L=40~70 ϕ 20mm	120本	
ポータブル 発電機	交流100V (150,300A) 直流12V	1台	本田技研工業(株)
解析ソフト	「比抵抗映像法プログラム」		ジーアイエス(株)
その他	遠電極用電線, トランシーバー, ノート型パソコン等		

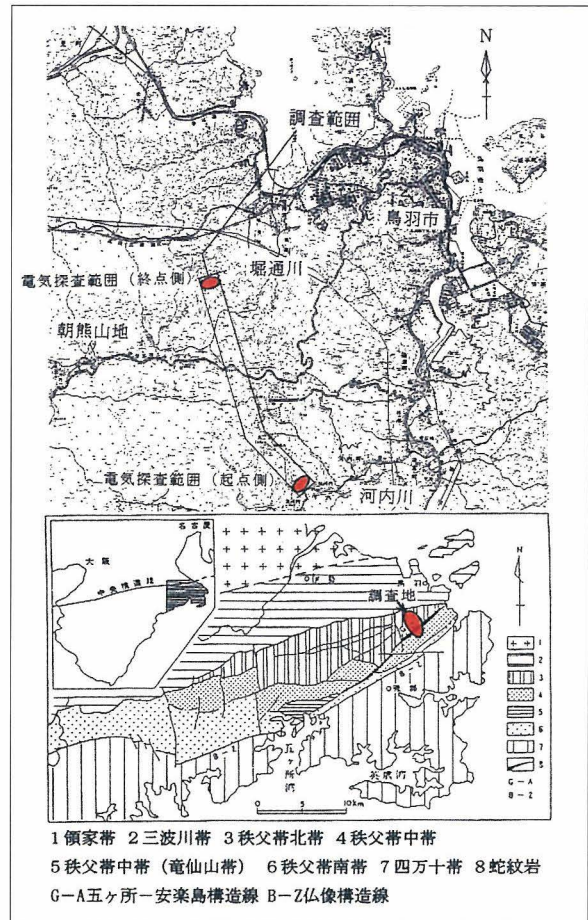


図2-2 地質概略図および調査地の地形図

このうち比抵抗2次元探査は、施工において重要なトンネル坑口部 (A1, A4, B, C測線) の弾性波探査結果を補うことを目的とした。

2-3 地質概要

本調査地は三重県中央部の東に位置する志摩半島地域にある。この志摩半島には、中央構造線が通っており、内帯と外帯の地質構造が見られる。

内帯	傾家帯 (変成岩類、花崗岩類)	中央構造線
	三波川帯 (変成岩類)	
	御荷鉾緑色岩類 (塩基性～超塩基性岩類)	
秩父帯	御荷鉾構造線	
外帯	秩父帯北帯 (中・古生代弱変成堆積岩類)	
	蛇紋岩 — 五ヶ所-安楽島構造線	
	秩父帯中帯 (中・古生代非変成堆積岩類)	
帯	断 層	
	秩父帯南帯 (中・古生代非変成堆積岩類)	
	仏像構造線	
	四万十帯 (中生代～古第三紀堆積岩類)	

図2-1 志摩半島の基盤岩類の構造区分と構造線

図2-1に志摩半島の基盤岩類の構造区分と構造線の概略図を示す。また図2-2に本調査地の地形図と地質概略図を示す。

図2-3は、本調査地である第2号トンネルの概略地質断面図である。これによると第2号トンネルの基盤は、起点側が秩父帯にあり、御荷鉾構造線を挟んで、御荷鉾帯、三波川帯となっている。

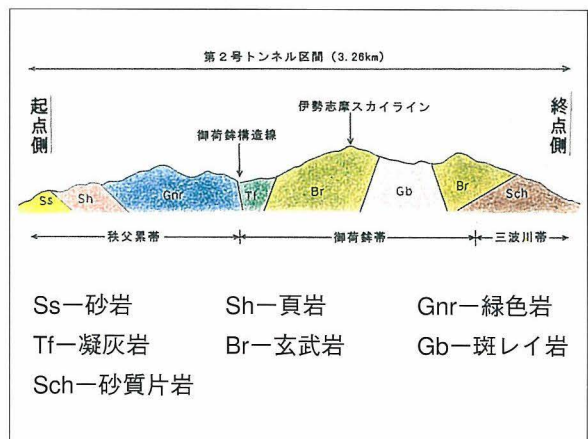


図2-3 概略地質断面図

3. 比抵抗2次元探査とは

3-1 調査方法および原理

比抵抗 ($\Omega \cdot m$) は、単位体積当たりの電気の流ににくさを示す量である。一般的な岩石や地層の比抵抗を図3-1に示す。岩石を構成する鉱物の比抵抗は非常に大きく絶縁体と見なせるため、地盤の比抵抗は、間隙の分布や大きさ、間隙内の含水状態、風化の程度等に支配される。よって同種類の地盤であっても、異なった比抵抗値が測定される。電気探査の中で、比抵抗法と呼ばれる探査方法は、この比抵抗の差異に着目して、地下の地層構造を推定する方法である。

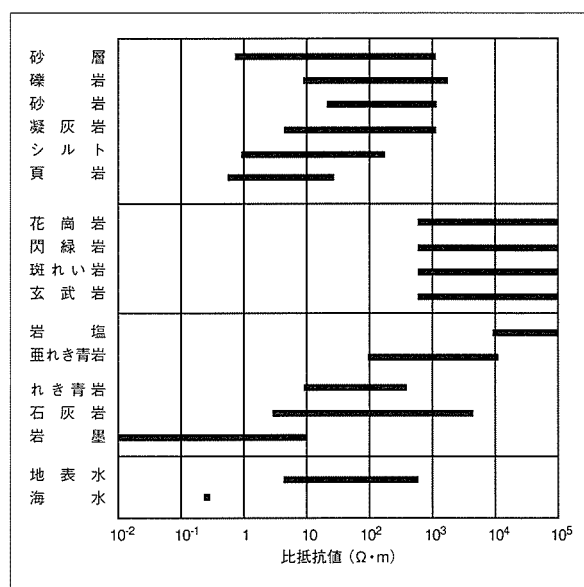


図3-1 岩石等の比抵抗値

探査方法は、2つの電流電極間に直流電流を流し、2つの電位電極間の電位を測定して見かけの比抵抗を求める (図3-2参照)。使用する電流は直流電流を用いるのであるが、通常は直流電流を用いると分極現象を起こすので、直流と見なせるほど長い周期で電源の極性を切り替えて矩形波 (交替直流) として使用する。

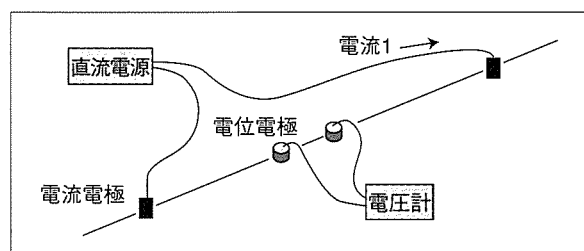


図3-2 比抵抗値の測定概要図

実際の測定では、あらかじめ測点に全ての電極を配置し、切替えボードによって測定位置を切り替えながら垂直方向と水平方向への探査を併用 (2次元探査) する (図3-3参照)。

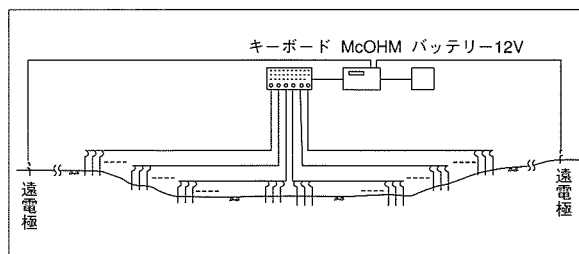


図3-3 複数の電極を用いた場合の測定概念図

以上のようにして測定した見かけの比抵抗値に、地形補正等を加え、初期モデルを作成し、理論値と実測値が一致するように、くり返し計算を行って、初期モデルを修正し、最適モデルを求める (有限要素法: FEM)。また最終的に採用したデータを図化し、既存ボーリングデータや弾性波探査結果と対比させ、地質学的な考察を加える。

3-2 探査結果の解釈について

探査結果の解釈は、比抵抗値の高低と比抵抗分布パターンの2視点からなされる。

1) 比抵抗値の高低からの解釈

地山の比抵抗は以下に列挙した要素に左右されるとともに、さらにこれらの要素が複合的に影響し、比抵抗の高低が表される。

- ① 岩石や土を構成する結晶や土粒子の比抵抗
- ② 亀裂の多少や構成粒子の大きさ
- ③ 間隙水の多少と水比抵抗
- ④ 化学的性質 (イオン化傾向)

2) 比抵抗パターンからの解釈

2次元比抵抗分布の比抵抗パターンの連続性から、以下のような地質構造や特徴を解釈することができる。

- ① 均一な比抵抗 — 均一な地質構成を反映
- ② 成層な比抵抗 — 堆積層などの成層構造を反映
- ③ 帯状や脈状の比抵抗 — 挟在層、断層、水脈を反映

- ④ 円弧状、レンズ状塊状の比抵抗 — 崩積土や地すべり頭部に見られるようなウェットゾーン（含水の高い湿潤部）を反映
- ⑤ 水平な比抵抗境界面 — 風化ラインや層理面を反映
- ⑥ 垂直な比抵抗境界面 — 断層や層理面を反映

4. 調査結果

本調査地の比抵抗は、全体で $100 \sim 2,000 \Omega \cdot m$ 前後の広い範囲を示した。これを便宜上、 $100 \sim 500 \Omega \cdot m$ 前後の間隔で以下のように区分し、検討した。

- ① $1,000 \Omega \cdot m$ 以下 : $100 \Omega \cdot m$ 間隔で区分
- ② $1,000 \sim 1,500 \Omega \cdot m$: $200 \sim 300 \Omega \cdot m$ 間隔で区分
- ③ $1,500 \Omega \cdot m$ 以上 : $500 \Omega \cdot m$ 間隔で区分
- また、比抵抗分布を3系統に色区分した。

- ① 高比抵抗部（赤色系） : $800 \sim 2,000 \Omega \cdot m$
前後以上
- ② 中比抵抗部（黄緑色系） : $600 \sim 800 \Omega \cdot m$ 前後
- ③ 低比抵抗部（青色系） : $100 \sim 600 \Omega \cdot m$
前後以下

このようにして表示した比抵抗映像法による解析結果を、表4-1-1～4-1-2に示す弾性波速度層区分および既存ボーリング結果と併せると図4-1-1（P.46）～4-1-2（P.46）のようになり、以下のような地山の状態が考察される。

1) 起点側坑口部

- ① 地表下約25m前後以浅において、 $0.3 \sim 1.3$ （一部1.6）km/s、 $1,200 \sim 2,000 \Omega \cdot m$ 前後と低

速度でかつ高比抵抗を示す領域は、強～中風化帯に対比される。

→比抵抗値は、不飽和帯の風化により細粒化し空隙の増大した状態を反映している。

- ② 深部において $2.3 \sim 4.9 \text{ km/s}$ を示す範囲は、概ね弱風化～新鮮岩盤に対比される。そのうち、 2.9 km/s 、及び $4.6 \sim 4.9 \text{ km/s}$ と周りに比べて相対的に高速度でかつ $800 \sim 1,000 \Omega \cdot m$ 前後の高比抵抗を示す領域は、主に砂岩・チャート・緑色岩よりなり塊状で良好な岩盤を形成していると判断される。

→比抵抗値は、新鮮・緻密・堅硬な岩質状態を反映している。

- ③ これに対し、 $2.3 \sim 2.5 \text{ km/s}$ 及び $3.9 \sim 4.4 \text{ km/s}$ かつ $500 \sim 700 \Omega \cdot m$ と周りに比べ相対的に低速度で中比抵抗を示す領域は、主に粘板岩分布域に対比され、風化深度は浅いもののもとと細片化しやすく、そのため含水の高いウェットゾーンを形成している可能性が高い。
- 比抵抗値は、吸着水や重力水の水比抵抗の影響を受けて、高→中比抵抗に抵抗値を減じている。

- ④ 低速度帯（弾性波探査で不明瞭ながら検出されたもの）と一致して、①項指摘の高比抵抗パターンや③項指摘の中比抵抗パターンが形成されている。

→高抵抗パターンに一致した低速度帯は、不飽和帯で開口性の割れ目を反映したものである。

表4-1-1 弾性波探査結果（起点側坑口部）

項目	速度層	第1速度層	第2速度層	第3速度層	第4速度層	第5速度層	低速度帯
弾性波速度値		0.30～0.45 km/s	0.75～0.95 km/s	1.3～1.6 km/s	2.2～2.9 km/s	3.9～4.9 km/s	1.6～3.2 km/s (見かけ速度)
推定地質		崖錐性堆積物		風化岩 多い←亀裂→少ない 強い←風化→弱い		弱風化 新鮮岩	断層、 亀裂の密集
A1測線 (縦断)	層厚	0～6m	0～8m	1～22m	3～23m	—	4ヶ所で検出 ($\Delta t = 1.1 \sim 3.2 \text{ ms}$)
	下限深度	0～6m	0～13m	0～30m	8～42m	—	—
B測線 (横断)	層厚	0～2m	0～7m	0～13m	3～11m	—	1ヶ所で検出 ($\Delta t = 1.4 \text{ ms}$)
	下限深度	0～2m	0～8m	0～20m	3～30m	—	—

表4-1-2 弾性波探査結果（終点側坑口部）

項目	速度層	第1速度層	第2速度層	第3速度層	第4速度層	第5速度層	低速度帯
弾性波速度値		0.25～0.50 km/s	0.85～0.95 km/s	1.4～1.8 km/s	2.6～2.7 km/s	4.1～4.8 km/s	3.6 km/s (見かけ速度)
推定地質		崖錐性堆積物		風化岩 多い←亀裂→少ない 強い←風化→弱い		弱風化 新鮮岩	断層、 亀裂の密集
A4測線 (縦断)	層厚	0～7m	0～5m	1～22m	6～25m	—	1ヶ所で検出 ($\Delta t = 2.3 \text{ ms}$)
	下限深度	0～7m	0～11m	1～32m	7～43m	—	—
C測線 (横断)	層厚	0～5m	0～5m	1～6m	3～9m	—	—
	下限深度	0～5m	0～5m	2～9m	8～18m	—	—

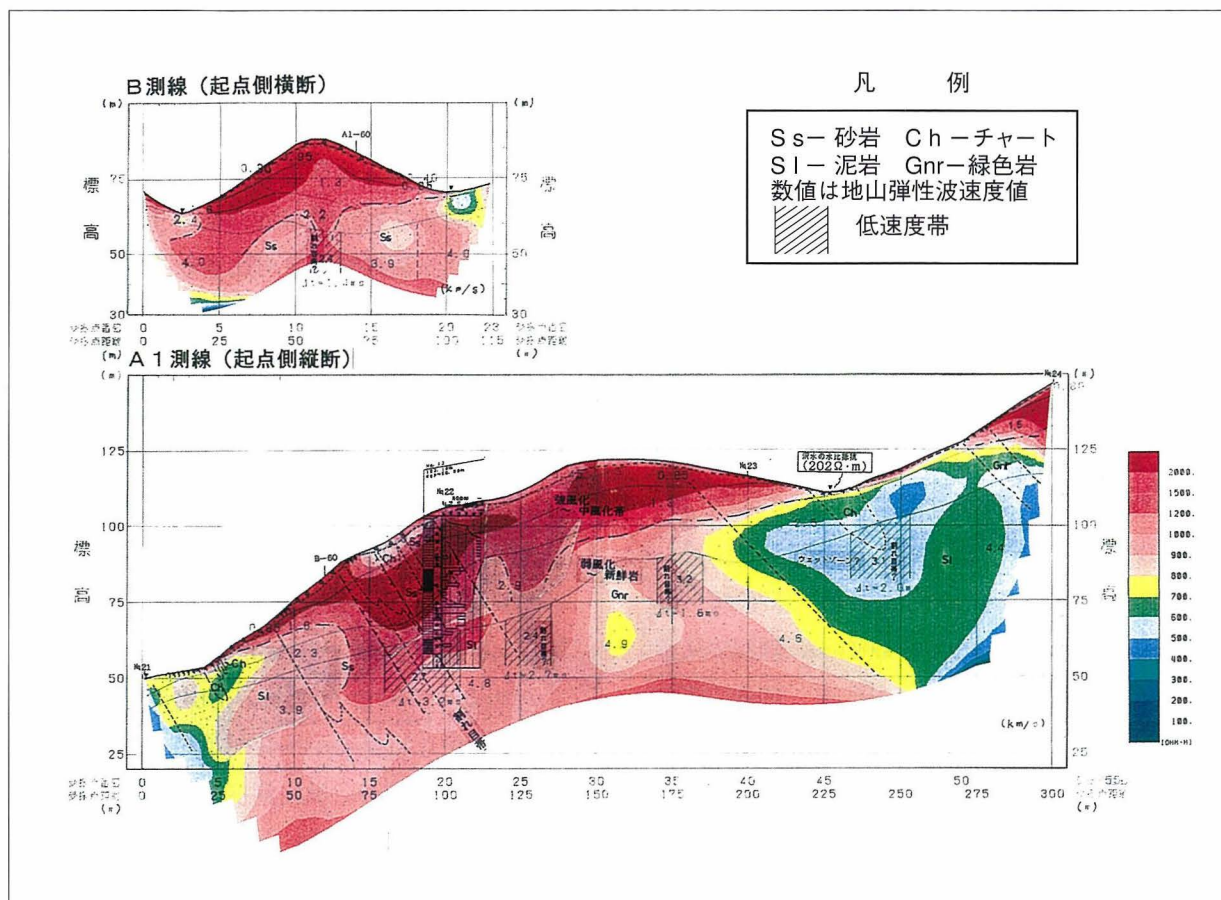


図4-1-1 比抵抗断面図 (起点側坑口部)

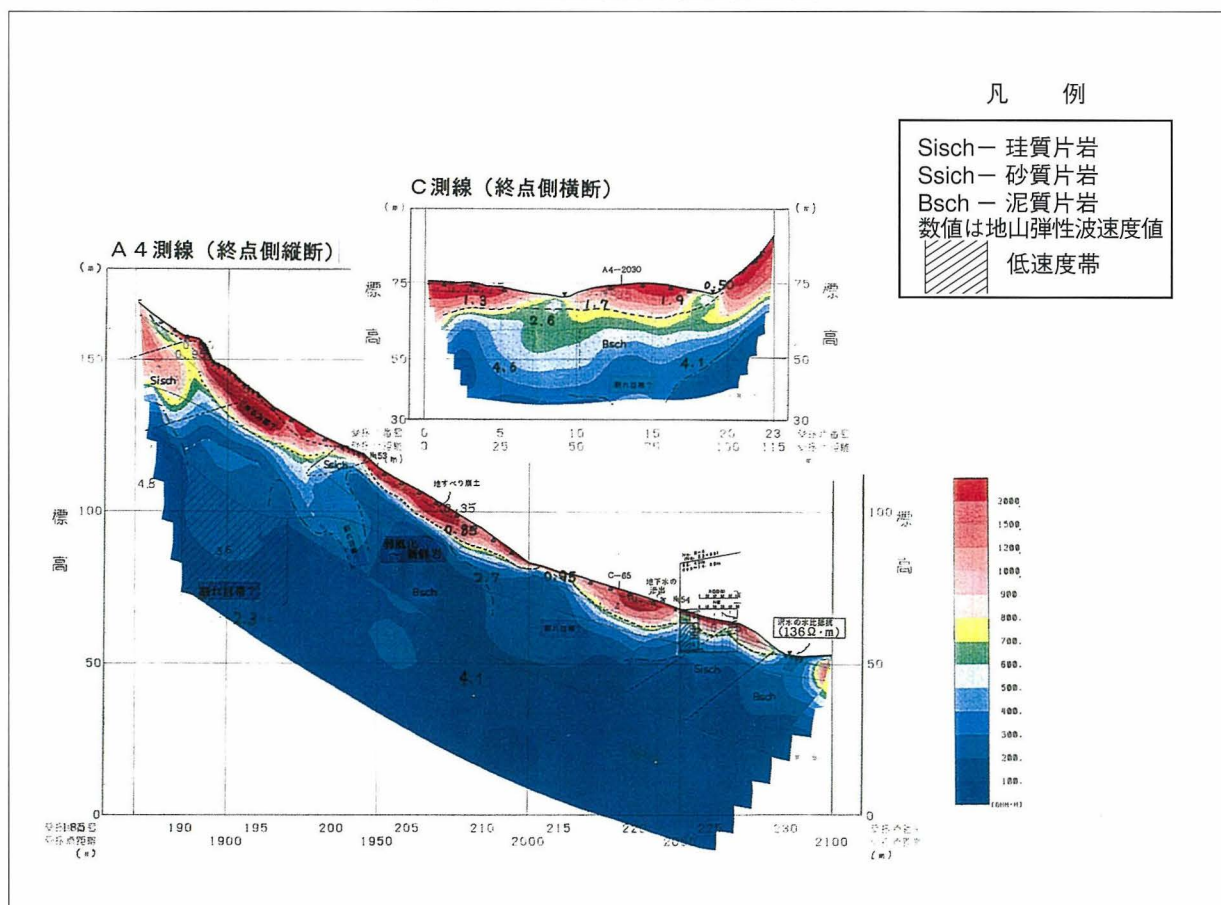


図4-1-2 比抵抗断面図 (終点側坑口部)

中比抵抗パターンに一致した低速度帯は、粘土化した劣化部または地下水を貯留するウェットゾーンを形成している可能性がある。(No.23+40m付近)

2) 終点側坑口部

- ① 地表下約10m以浅の0.25~1.8km/sを示す低速度層に、800~2,000 $\Omega \cdot m$ と高比抵抗の円弧状パターンが形成されている。この部分は地形や地表地質状況より主に地すべり性崩積土に対比される。また、古い滑落崖と考えられる露岩部においても同様の円弧状パターンを示す範囲は、“ゆるみ岩盤”を形成していると推定される。

→比抵抗値は空隙の増大したルーズな土質または開口亀裂が発達した岩塊状に分離した強風化岩部を反映している。また、1.7~1.8km/sとやや高い速度値を示す範囲は、地下水の速度の影響を受け高速度化した領域(地下水面が浅い)の可能性がある。

- ② 深部で2.7km/s及び4.1(一部4.8) km/sと高速度を示す領域は、弱風化~新鮮岩盤に対比される。この領域は主に黒色片岩に対比され、100~300 $\Omega \cdot m$ 前後と一様に低比抵抗を示す黒色片岩地帯に見られる一般的傾向となっている。すなわち、全般に片理面などの割れ目が発達して細片化しているため、含水率は高くなっている。

→黒色片岩の比抵抗値は、吸着水や地下水の水比抵抗の影響を受けて、低くなっていると考えられる。

- ③ 滑落崖の直下で検出された低速度帯は、特に割れ目の発達した箇所と推定され、さらに周りに比べやや高い比抵抗値を示すことは、開口性で空隙の多い割れ目帯を反映した可能性が考えられる。また、低速度帯は検出されなかったものの、周りとは比べやや高い比抵抗を示す同様の部分にも、割れ目帯の存在が不明瞭ながら推定される。

5. おわりに

本調査のあとに、起点、終点側の坑口部において、水平ボーリングが実施されて本調査結果の補足・確認がなされている。

これによると、起点側で想定された割れ目帯付近では、C_L~D_H級の岩盤が確認されており、本調査結果は地山の状態を良く反映していた。

これに対し、終点側のNo.53+11~No.53+60の区間では、本調査で想定した割れ目帯より、かなり大きな規模の破碎帯が9ヶ所確認された。

終点側の調査結果に見られるような、比抵抗値が低く、大きな値の変化を伴わない岩種の地山では、比抵抗値から風化・変質・割れ目状態などの地山状態を推定することは難しいとの報告(参考文献4))もあり、今後の課題としては、色々な岩種の地山との整合性についてのデータの蓄積がなされ、試験精度を向上していくことが重要であると思われる。

参考文献

- 1) 済木幸平：地盤工学の基礎知識、pp.38~41 (1987)
- 2) 伊藤芳朗、楠見晴重、竹内篤雄：斜面調査のための物理探査 (1998)
- 3) 物理探査学会：図解 物理探査 (1989)
- 4) 石村利明、宮川順一、真下英人：電気探査によるトンネル地山評価、土木技術資料、41-5 (1999)

愛知県西部の耐震基盤層に関する1考察

富士開発株式会社

内園 立男／若宮 ひとみ

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、社会基盤の地上構造物（道路橋、鉄道橋、建築物、港湾施設）、地下構造物のライフライン等が破壊された。兵庫南部地震以降、構造物、ライフラインの耐震設計の見直しが行われ、実務的には新しい基準での耐震設計が精力的に進められている。

耐震設計の応答解析を進める上で、耐震基盤面の判定も重要である。耐震基盤面の判定は、おもに調査ボーリングによる地層確認、N値の測定により行っているが、PS検層によるS波測定による判定も行われている。

このような現状の中、新しい耐震設計の手引（案）¹⁾（財団法人愛知県下水道公社：平成11年）で地質的な面からの想定基盤層の提案（図-1）もなされている。そこで、本報告では筆者たちが測定・収集した愛知県西部の地質構成、N値、S波速度を整理し、検討を加え上述の想定基盤層の評価を行う。

2. 基盤層の定義と判定上の問題点

基盤層という用語については、地質学および工学の面から見た定義がやや異なる。それは次のようである。

地質学的には、「対象としている地層に対して、下位の地層または古期岩類。一般的には、対象とする地層の形成時に、堆積物のいれもの

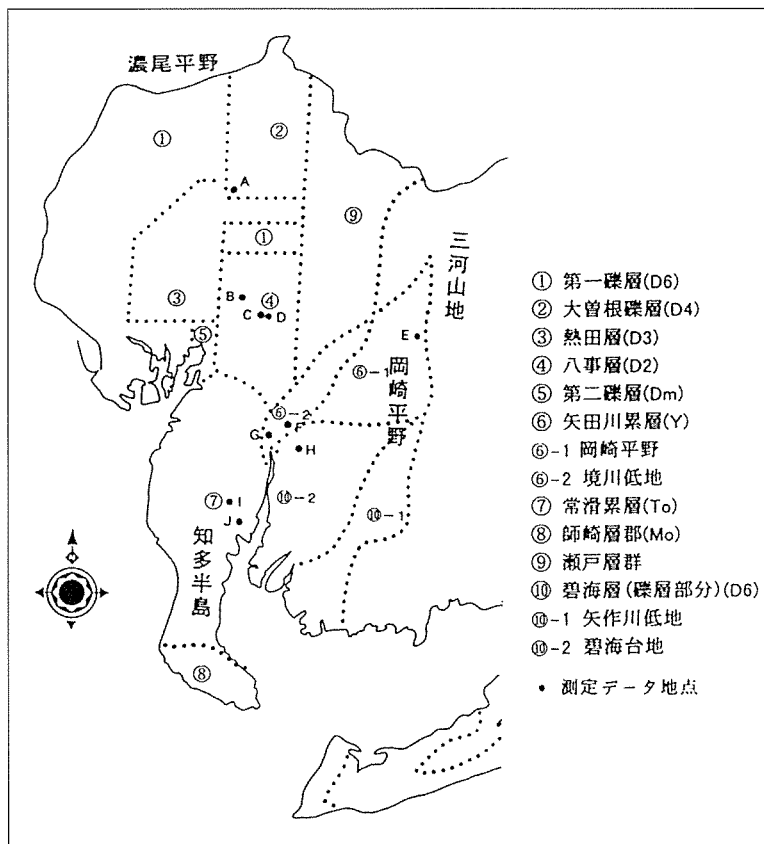


図-1 愛知県西部の想定基盤層
1)の参考文献を編集・加筆

をつくっていると考えられる地層・岩体を指す。」(地学辞典：1996)²⁾としている。

一方、工学的には、基盤面として「対象地点に共通する広がりを持ち、耐震設計上震動するとみなす地盤の下に存在する十分堅固な地盤上面を想起し、それ以下の地層がせん断弾性波速度300m/s程度（粘性土層ではN値25、砂質土層ではN値50）以上の値を有している剛性の高い地層の上面を基盤面」と規定している。（日本道路協会：道路橋示方書・同解説耐震設計編）³⁾上記の定義からの地質学的な基盤層としては、愛知県で見ると古期の岩類もしくは新生代第三紀鮮新世東海層群（矢田川累層、常滑層群）よ

り古い地層が対象になると思われる。工学的な基盤面は、定量的で非常に明確である。しかし、実務においてはN値で判定するケースが多いが、調査が十分でなく深度方向の連続性が乏しかったり、水平的な広がりに対する情報が少なく、地層の同定にも苦慮することが多い。このような状況の中、前に述べた図-1に示すような平面的な領域の地震基盤層分布図の提案は意義深いものであり、調査計画上の指標にもなると思われる。

3. 愛知県西部の地形・地質構成

本報告で対象にしている愛知県西部は、地形区分上、岡崎平野以西の三河山地、尾張山地を除く地域で、濃尾平野、尾張丘陵、知多半島、岡崎平野に相当する。それぞれの地形単元の地質層序は表-1にまとめる。

地質は、東海層群以降の新しい地層が対象になる。

4. 測定データと耐震基盤層

データは図-1（図には推定基盤層の地層名も示す）に示すような地点で、測定したものである。おもな測定内容は、N値、S波速度である。

S波速度はPS検層のダウンホール方式により測定したものである。測定結果を表-2（P.50）に要約する。なお、それぞれの地点の構成地層の区分には、既往資料（愛知県防災会議地震部会：愛知県の地質・地盤⁴、（社）土質工学会中部支部：最新名古屋地盤図⁵、名古屋大学出版会：濃尾平野の地盤沈下と地下水⁶等）の地質断面図を基準にして地層を同定区分した。

判定基盤層は、図-1に示すそれぞれの地点領域の推定基盤層とA, B, D, H, 地点で異なる。

5. 考 察

5-1 推定基盤層と判定基盤層の違いについて

前章で述べた測定データからの判定基盤層と図-1の推定基盤層の違いについて検討する。

・A地点：本地点は、第1礫層が広く分布する領域であり推定基盤層の呼称違いによるものと思われる。しかし、第1礫層はS波速度が300m/s以上でも、下位の熱田層のS波速度が300m/s未満であることを考えれば第1礫層は中間基盤層ということになる。第1礫層の分布域ではそれより深部の熱田層より下位の地層の確認が必要であることが分る。

・B地点：本地点は、推定基盤層は八事層であるが、判定基盤層はそれより浅の海部・弥富累層になる。熱田層は、この地点でも基盤層にはなり得ない。

・D地点：本地点は、推定基盤層は八事層に相当するが、欠層地点で下位の矢田川累層が直接に分布することによる。

・H地点：本地点は、推定基盤層は碧海層に相当するが、判定基盤層は下位の矢田川累層となる。碧海層が基盤層になり得ないのは、おもに砂と粘土の規則な頻互層からなることによると考えられる。

表-1 愛知県西部域の地質層序表
1) の参考文献を編集

地質年代	岡崎平野	知多半島	濃尾平野
新 生 代	完新世	沖積層 A (上部砂礫層) (上部粘土層)	沖積層 A
	後		南陽層 A
			濃尾層 N
	更		①第一礫層 D ₁
			鳥居松礫層 D ₂
	期		②大曾根礫層 D ₃
		上部多屋層	③熱田層 D ₄
		矢梨層	④第二礫層 D _m
	新	半田段丘堆積物	
	中	新田層 Sh	
			海部累層 Am
	期		第三礫層
鮮 新 世	美合層 仁木層 細川層 半母層 Km	時志層 富貴層 龜崎段丘堆積物	弥富累層 ④八事層 D ₅ 磨山層 D ₆
	明大寺層 三好層	瀬戸層 野間層 武豊層 加木風層	
			③瀬戸層群 Se
	⑥矢田川累層 Y	⑦常滑累層 To	
		⑧師崎層群 Mo	
古第三紀			
中生代	白亜紀		

表-2 測定データのまとめ

地形区分	A		B		C		D		E		F	
	V s (km/s)	N値	V s (km/s)	N値	V s (km/s)	N値	V s (km/s)	N値	V s (km/s)	N値	V s (km/s)	N値
構成地層	A c											
	A s	0.07~0.25	2~25									
	D c											
	D s											
	D 6 g	0.36~0.96	60以上									
	D 3 u c	0.22~0.61	20~60以上									
	D 3 u s			0.21~0.31	3~60以上							
	D 3 u g			0.24	15~60以上							
	HK c										0.24~0.30	6~31
	HK s										0.11~0.35	7~50以上
	K m s								4~48	0.10~0.32		
	A m c			0.31~0.36	22~34							
	A m s			0.31	23~60以上							
	A m g			0.48~1.02	60以上							
	D 2 c					0.17	2~3					
	D 2 g					0.34~0.53	20~50以上					
	D 1 g					0.31~0.50	22~50以上					
	T c											
	T s											
	Y c						0.32~0.47	15~50以上	0.33	26~50以上		
	Y s						0.28~0.32	8~23	0.35~0.48	30~50以上	0.46	50以上
	Y g								0.42~0.48	50以上		
図-1の推定基盤層		大曾根礫層 (D 4)		八事層 (D 2)		八事層 (D 2)		八事層 (D 2)		矢田川累層 (Y)		矢田川累層 (Y)
判定基盤層		第1礫層 (D 6)		海部・弥富累層 (Am)		八事層 (D 2)		矢田川累層 (Y)		矢田川累層 (Y)		矢田川累層 (Y)

地形区分	G		G		H		I		J	
	V s (km/s)	N値	V s (km/s)	N値	V s (km/s)	N値	V s (km/s)	N値	V s (km/s)	N値
構成地層	A c	0.13	1~2	0.13	3~4		0.08~0.11	2~5		
	A s						0.10~0.16	3~9		
	D c	0.16~0.26	6~10	0.16	6~10					
	D s	0.26	9~22	0.16~0.26	5~22			0.09	6~13	
	D 6 g									
	D 3 u c									
	D 3 u s									
	D 3 u g									
	HK c									
	HK s				0.16~0.23	8~50以上				
	K m s									
	A m c									
	A m s									
	A m g									
	D 2 c									
	D 2 g									
	D 1 g									
	T c	0.40~0.55	27~60以上	0.40~0.59	11~60以上		0.18~0.31	21~60以上	0.29~0.43	6~56
	T s	0.40~0.55	27~60以上	0.40~0.59	22~60以上					
	Y c									
	Y s					0.30~0.49	12~50以上			
	Y g									
図-1の推定基盤層		矢田川累層 (Y)		矢田川累層 (Y)		碧海層 (D 6)		常滑累層 (T o)		常滑累層 (T o)
判定基盤層		常滑累層 (T o)		常滑累層 (T o)		矢田川累層 (Y)		常滑累層 (T o)		常滑累層 (T o)

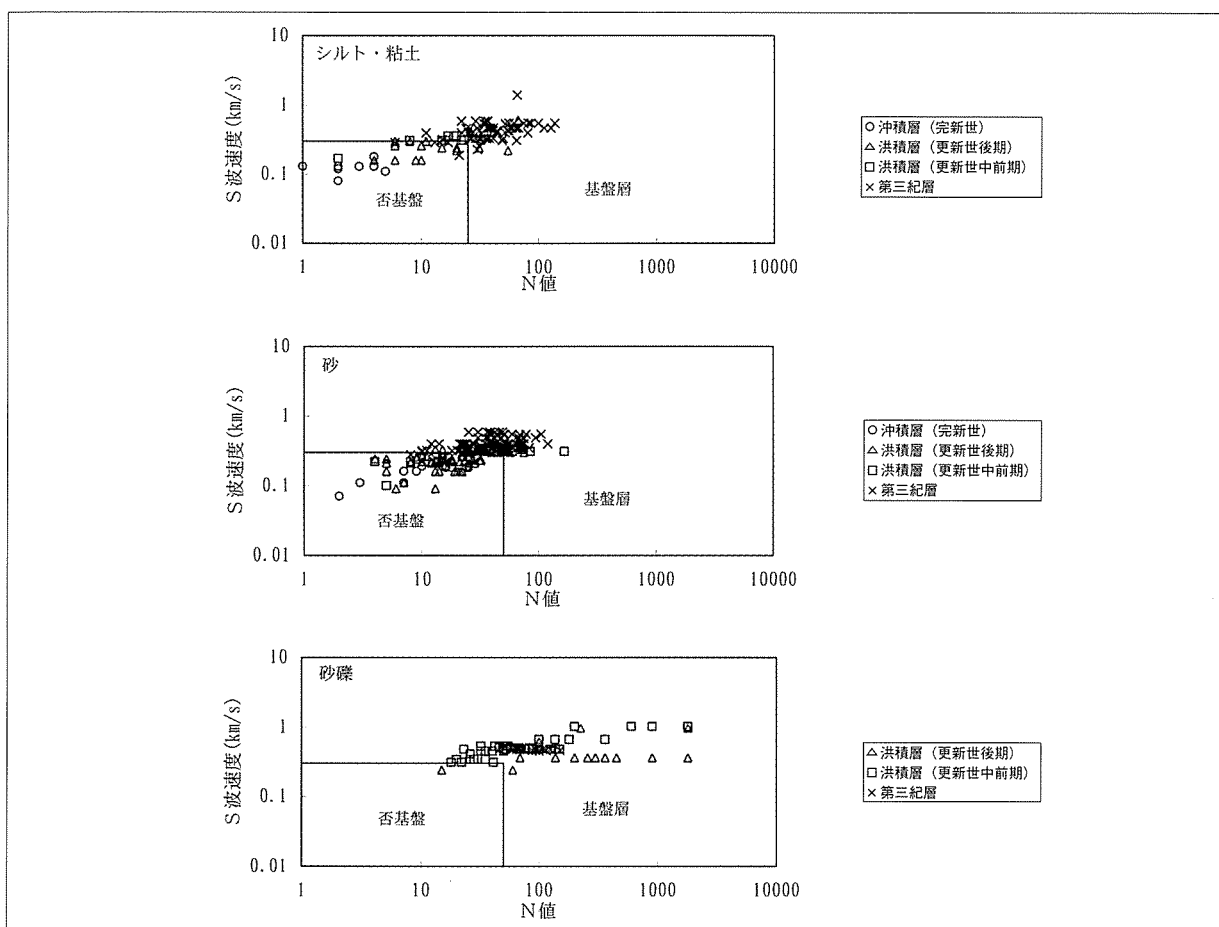
(構成地層は、表-1の層序表により区分した)

5-2 S波速度とN値の関係について

S波速度とN値の関係を図-2 (P.51) に示す。関係図は、粘土・シルト、砂、砂礫の土質別に作成した。それによると、粘土・シルトは明瞭な相関が認められ、N値が高くなればS波速度も速くなる傾向にある。砂は粘土・シルト程では

ないものの弱い相関が見られる。砂礫は相関は認められない。

愛知県西部での耐震基盤層として見れば、土質に関係なく更新世後期より古い地層が基盤層となることが分かる。



図一2 N値とS波速度相関図

6. おわりに

本報告では、愛知県西部でPS検層により測定したS波速度を基に耐震基盤層について検討した。検討では、最近提案された想定基盤層との比較評価も行った。

その結果、想定基盤層と測定による判定基盤層はおおむね良い対応関係を示すが、一部で対応関係が見られない地点が見られた。対応関係が見られない要因としては、地層の同定誤差もしくは地質的な想定基盤層が耐震基盤層としてはなり得ない地層も含まれることによるものである。

このように、想定基盤層として提案された地層であっても調査測定による判定が重要であること、大まかではあるが、愛知県西部での耐震基盤層としては更新世後期より古い地層が基盤層としての対象になり得ること等が分かった。

本報告は、広域を少ないデータであるが耐震

基盤層について検討し、構成地質から基盤層を提案した。しかし、地質的には地層の本来持つ不規則性、風化等による劣化等の要因もあり、それに伴い対象地点によっては基盤層も変化すると思われる。したがって、綿密な調査測定により判定することは言うまでもないが、この報告がこの種の調査の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 下水道耐震設計の手引(案)一管渠編一：財団法人 愛知県下水道公社 平成11年
- 2) 地学事典：平凡社 平成8年
- 3) 道路橋示方書・同解説 耐震設計編：(社)日本道路協会 平成8年
- 4) 愛知県の地質・地盤：愛知県防災会議地震部会 昭和58年
- 5) 最新名古屋地盤図：土質工学会中部支部 昭和63年
- 6) 濃尾平野の地盤沈下と地下水：名古屋大学出版会 昭和60年

切羽前方地山の評価について —切羽前方探査(TSP・トンネルHSP)実施事例—

サンコーコンサルタント株式会社 名古屋支店
鈴木 雅博

1. はじめに

Aトンネルは、最大土被り厚300m延長3kmと長く、事前調査によって施工基面付近の正確な地質状況を把握する事は難しい。TSPは、各種計測結果、坑内の地質状況及び既往調査資料等を基にして、切羽前方地質状況の合理的推定を実施し、工事の円滑化、安全性の確保ならびに経済性の観点から、最適な工法等を提案する事を目的としている。

この業務の中で、TSPと同時にトンネルHSPやコアボーリングを同時に行う機会が得られたので、その事例をここに報告する。

2. 切羽前方探査

2-1 TSP探査の概要

TSP(Tunnel Seismic Prediction)は、Amberg Measuring Technique 社が開発したもので、施工中のトンネル坑内から切羽前方の地質の不連続面を検出する手法である。地震波は、音響インピーダンス(P波速度×密度)の異なる面において反射する性質がある。この探査は、この反射を観測し、各発破点から受振点までの反射波の到達時間差およびP波の伝播速度に基づき検出する方法である(図-1)。

探査風景を図-2に示す。測定機は軽量・小型でありトンネル坑内で容易に作業可能である。

データの解析手順は図-3(p.53)の通りに行われる。

TSPは、図-4(p.53)に示すように「多点発破・単点受振」の配置で行う。TSPは次のような特徴がある。

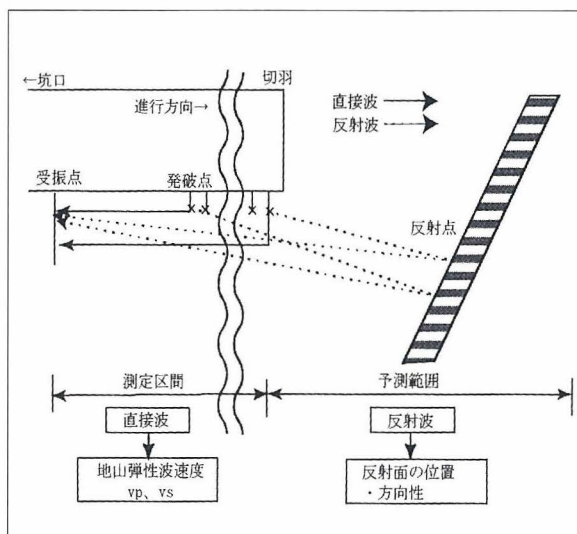


図-1 切羽前方探査原理



図-2 TSP・トンネルHSP測定機一式

- ① トンネル軸に対する不連続面の交差角が推定できる。
- ② トンネル切羽でのTSPの作業時間は、他の方法に比べて非常に短い。
- ③ 測定区間内の弾性波速度が把握できる。

2-2 トンネルHSPの概要

トンネルHSPは、図-4に示すように「多点発破・多点受振」の配置で行う。そのため、トンネルHSPの解析手順は、図-5のようにTSPと若干異なる。

トンネルHSPは、以下の特徴がある。

- ① はぎ取り法が適用できるため、地山速度の把握およびゆるみ領域の補正が可能であること。
- ② 多量のデータを重合することによってS/N比を改善できること。
- ③ 振源オフセットの異なる解析断面を重合することでイベントの復元・ノイズ識別が容易になること。
- ④ 解析領域を切羽前方のみならず側方領域あるいは既施工区間など任意の方向へ絞ることができること。

特に④の既施工区間の解析を行うことによって前方の地質状況を解析しやすくなることは、利点である。

3. 適用事例

3-1 地形・地質状況

トンネル付近には北東-南西方向の直線谷と鞍部の配列からなるリニアメントが顕著に認められ、トンネル軸はこれとほぼ平行している。

地質は、濃飛流紋岩類の流紋岩～流紋デイサイト溶結凝灰岩が主体である。濃飛流紋岩類中には安山岩や花崗斑岩及び花崗岩が部分的に貫入している。濃飛流紋岩類を覆い未固結な段丘堆積物、現河床堆積物、崖錐堆積物が分布している。既往調査としては、ボーリング調査、弾性波探査、高密度電気探査が行われている。今回の探査地点は土被り厚が200mを越え、事前調

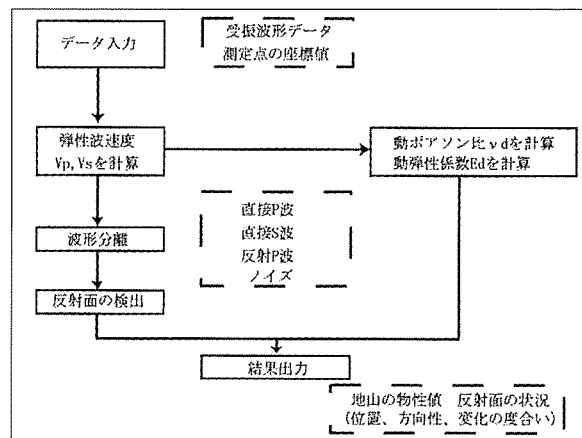


図-3 TSPの解析手順

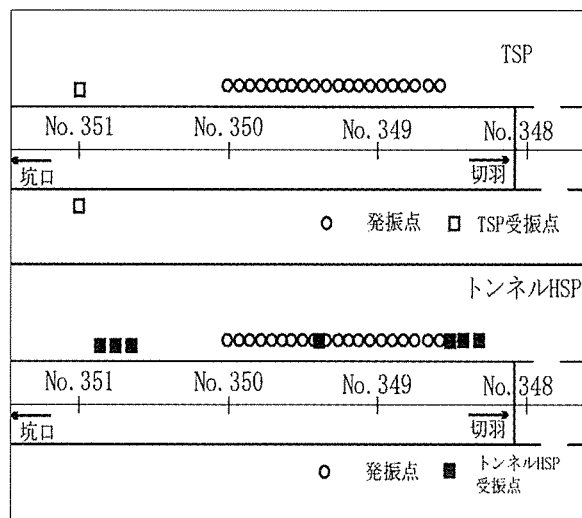


図-4 TSP・トンネルHSP測線配線

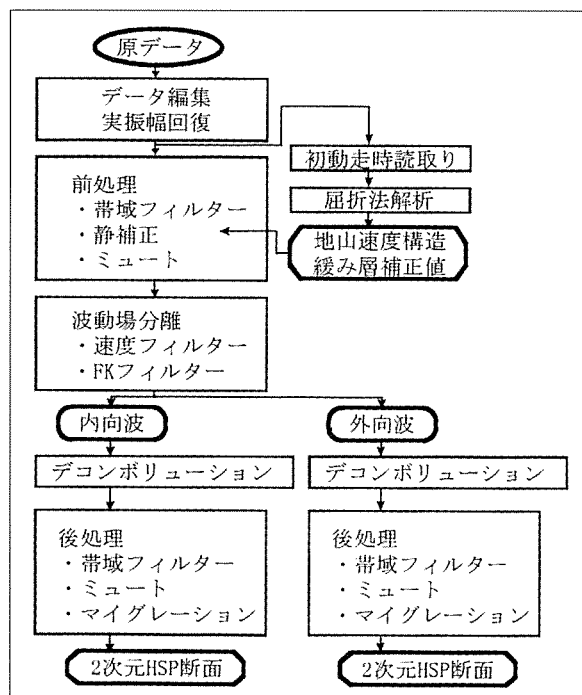


図-5 トンネルHSPの解析手順

査でも施工基面付近の正確な地質状況を把握することは難しかった。

切羽前方探査区間は、既往調査によってCM級の岩盤状況が予想され、D～CL級岩盤を挟む可能性があると考えられていた。

3-2 TSP解析結果と解釈

図-6 (P.55) のように、得られた生波形に対して様々な波形処理を実施する。その後、DS法により反射面を評価する (図-8・P.56)。探査区間の大半は、比較的良好な岩盤が分布すると考えられるが、以下の区間で劣化した岩盤状況が予想された (図-9・P.56, 図-12・P.57)。

- ① No.347+3～No.346+15
- ② No.344+14～No.344+9
- ③ No.344+1～以奥

TSP解析結果から既往調査における、2.5km/s帯が①の区間に相当する可能性があると考えられた。①のゾーンは、低速度帯で顕著な岩盤劣化帯と予想されるにもかかわらず高比抵抗帯に区分されていた。このことは、岩盤劣化帯が余り熱水変質を受けておらず割れ目が粘土などによって閉塞されていないことを反映していると推定した。そして①は多亀裂帯であり、顕著な地下水貯留層であると推定した。

3-3 トンネルHSP解析結果と解釈

トンネルHSPによって得られた生波形は、図-7 (P.55) のように波形処理される。今回のトンネルHSPにおいては、切羽前方の解析を行う前に既掘削区間を解析した (図-10・P.56)。その結果、得られた反射面と顕著な劣化帯の位置はよく合致した。切羽前方範囲について得られた反射面の大きさ、分布状況から地質状況を評価する (図-11・P.57, 図-12) と、切羽より反射面①No.346+1までは現況とほぼ同様な地山状況を示すが、これより前方では地山が悪くなる傾向にある。特に反射面の最も大きな③No.345+9付近と反射面が集中して分布する④～⑥区間は、既往の弾性波探査で認められた低速度帯 (2.5km/s、2.9km/s) のほぼ直下に相当す

ることから地山が顕著に劣化することも予想され、施工時に注意が必要であると評価した。

3-4 コアボーリング調査

今回のTSP、トンネルHSPの探査区間では切羽から約100mの先進ボーリング調査を実施した。その調査結果は図-12に示す。全体に良好な岩盤が分布しており、CM～CH級である。しかし、CL級岩盤が以下の区間で確認された。

(No.343+7.0～12.0、No.344+3.2～5.2
No.346+14.6～15.0、No.347+0.0～0.6
No.347+16.4～17.0)

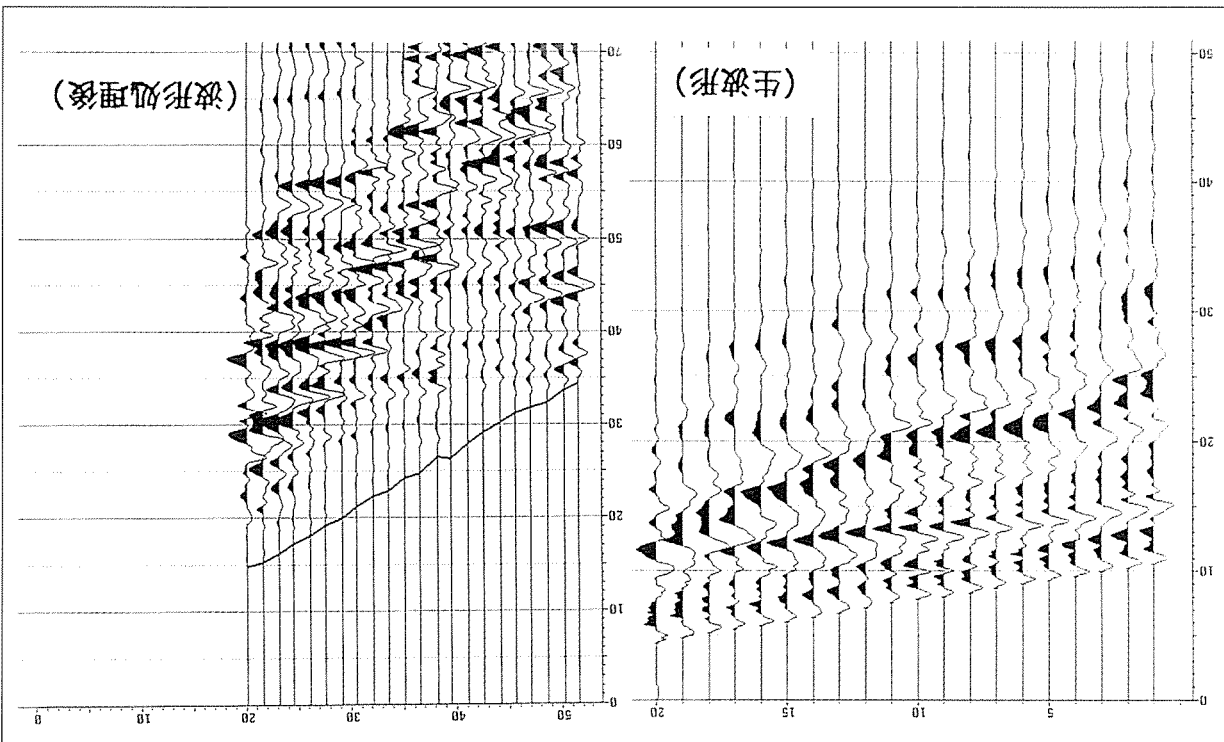
そこで、本調査区間は、CⅡパターンによって施工された。切羽前方探査における強→弱の変化は、ボーリングコアの岩級区分のCM→CL、CM→CL、CH→CMの変化とほぼ一致していた。

4. まとめと課題

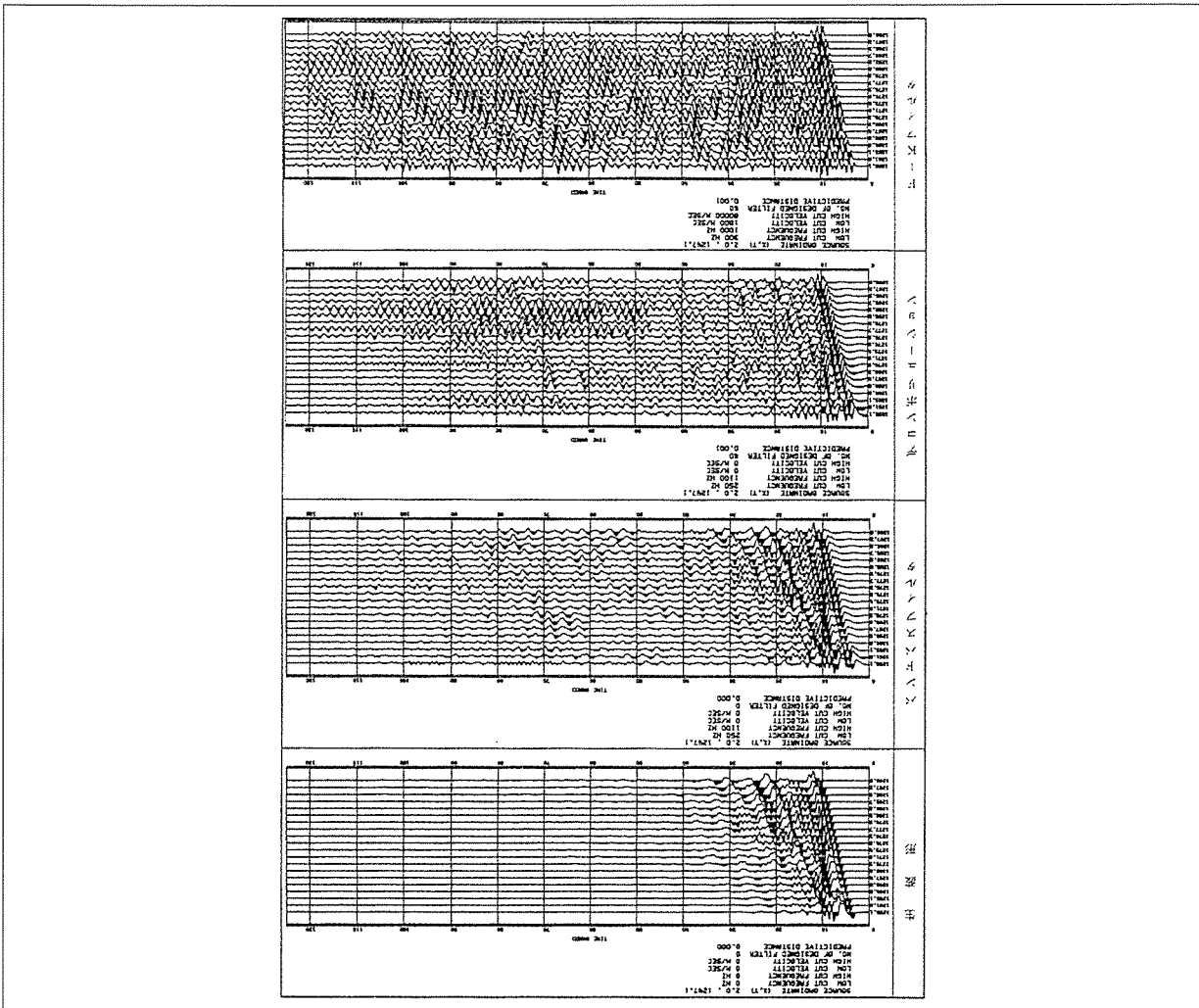
TSPとトンネルHSPは、いずれも物性の変化を反射波として捉えている。したがって、地山状態の変化を相対的に捉える手法であり、反射面で境された地山の絶対的な物性を評価し得るものではない。本調査区間においては、既に弾性波探査、高密度電気探査が行われており、地山の絶対的な物性を判断し得る指標があった。TSPとトンネルHSPを具体的な地山評価に適用するためには、このような別種の探査方法を組み合わせることが不可欠である。この意味で、切羽前方探査は事前調査で適用される様々な探査方法がもつ位置に関する不確実性を補完する調査手段であると言える。

TSP又はトンネルHSPの弱点として、反射面がトンネル軸に対して直角、平行の場合は、トンネルに出現する不連続面の位置を捉えることが難しい。

切羽前方探査は、その長所、短所をよく認識した上で、目的にあった利用が望まれる。



図一6 TSPの波形データ



図一7 トンネルHSPの波形データ

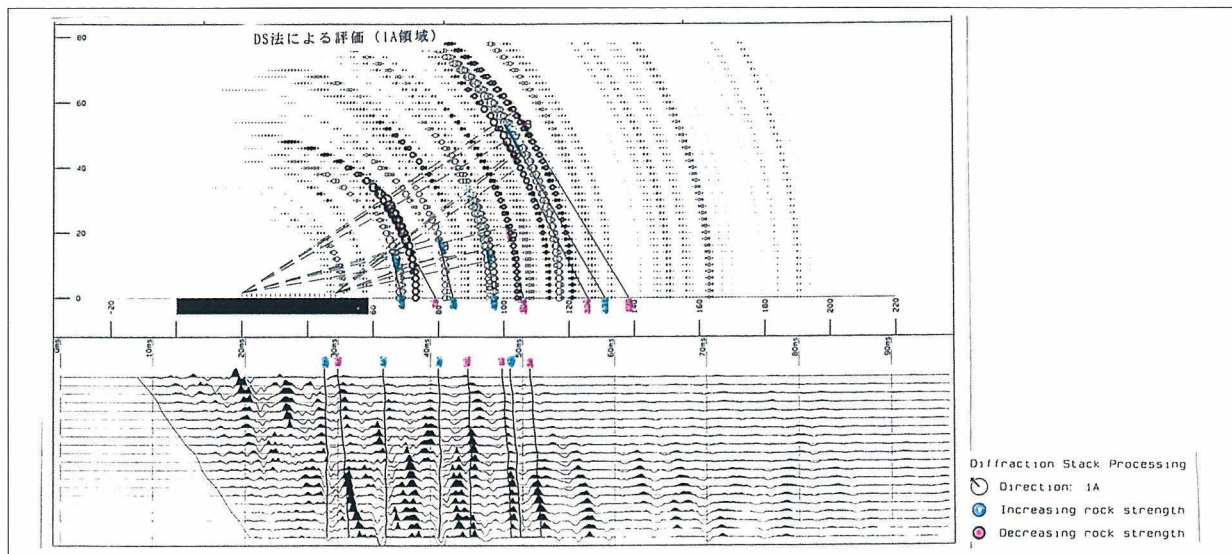


図-8 DS法による評価 (TSP)

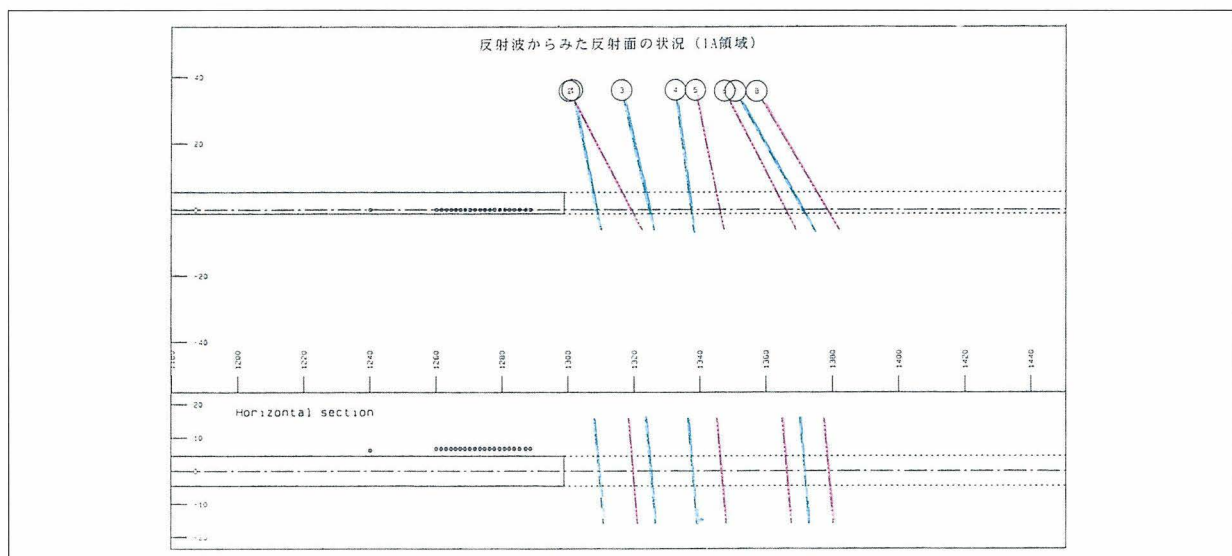


図-9 反射面の評価 (TSP)

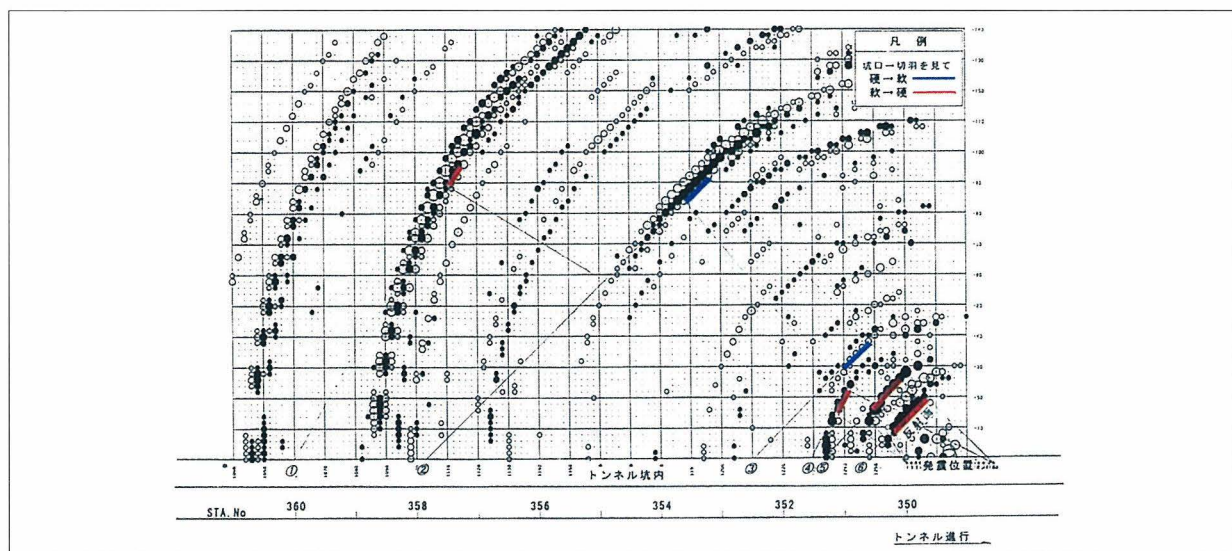


図-10 トンネルHSP解析結果 (既掘削区間)

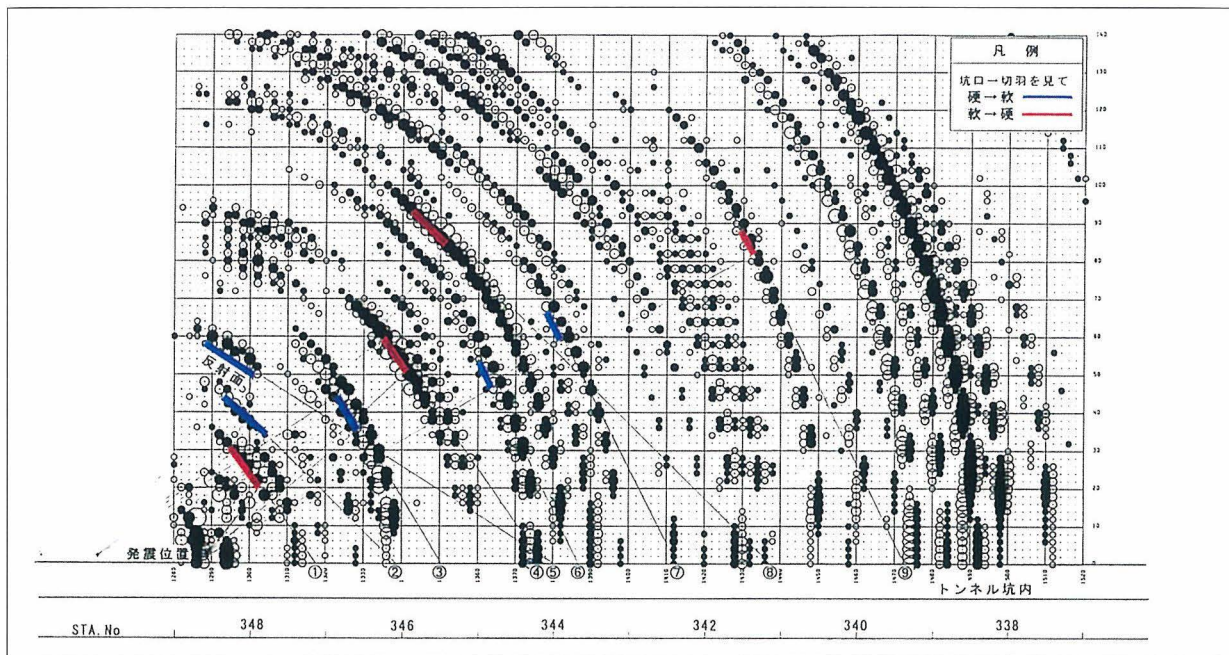


図-11 トンネルHSP解析結果（切羽前方）

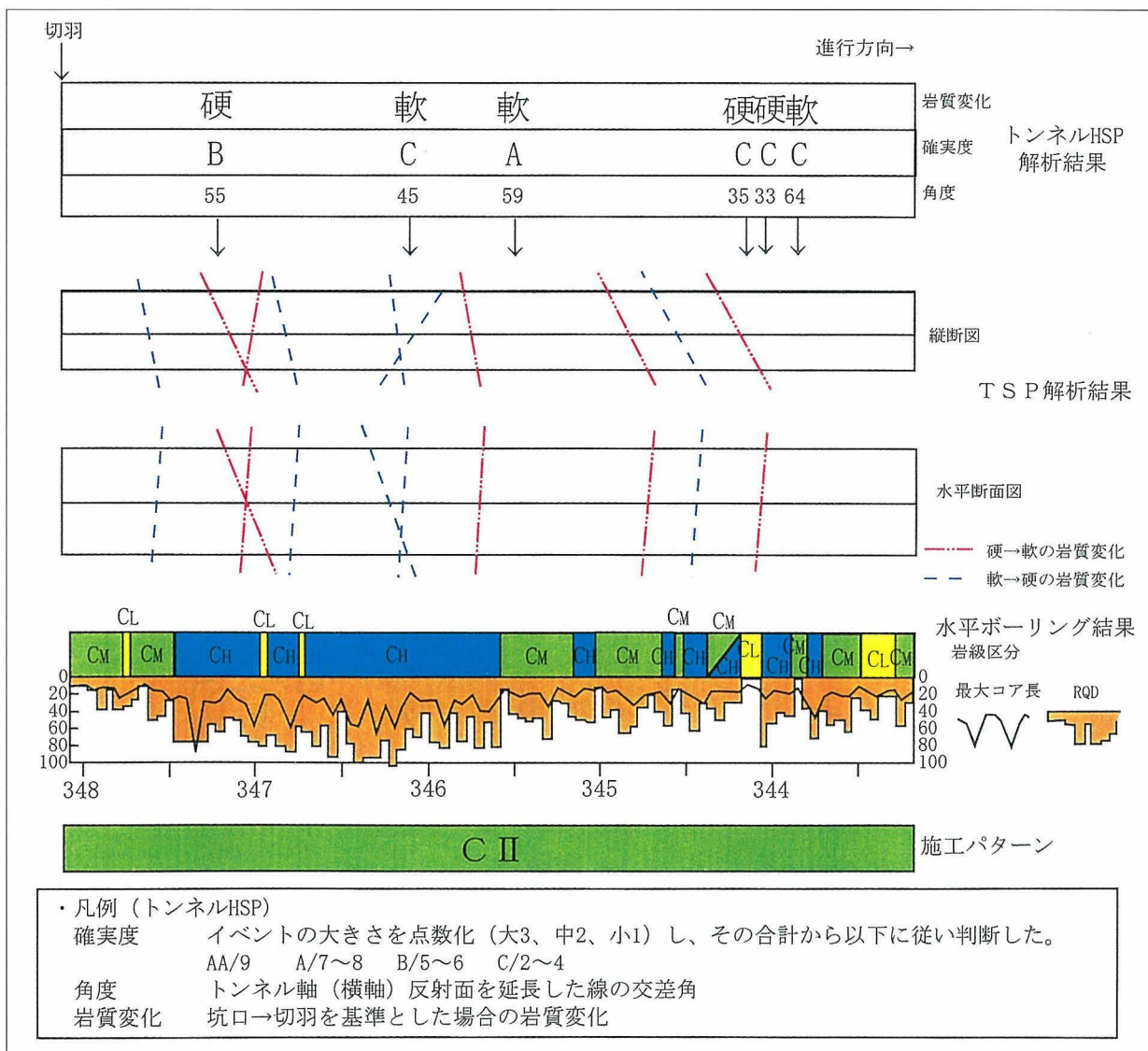


図-12 調査結果一覧

兵庫県南部地震における 埋立地内の液状化現象

応用地質株式会社

塚本 登士／池田 善考／村田 芳信

1. はじめに

平成7年1月17日の午前5時46分、淡路島北端部を震源とするマグニチュード7.2の兵庫県南部地震が発生した。この地震により淡路島ならびに阪神間では多数の犠牲者を出し、都市機能も極めて大きな打撃を被った。その中で埋立地を中心とする臨海部では、液状化に伴う噴砂と地盤沈下が広く発生した。今回、これらの被害の実態を把握し、液状化のメカニズムを明らかにするとともに、地盤改良工の効果の確認や今後の埋立に対する検討資料とするため、多角度から調査を進めている。

その中で資料調査により地盤改良の有無ならびに盛土材料と噴砂の発生及び沈下の状況、テストピット掘削により観察した噴砂の発生状況、さらに動態観測結果から沈下を生じた地層を検証した結果等、現在までに明らかになった液状化の実態について報告する。

2. 液状化に伴う噴砂区域の分布

ポートアイランド、六甲アイランドは神戸港沖に建設された人工島である。図-1に示すようにポートアイランドは北側の1期地域と南側の2期地域に分けられ、それぞれ表-1に示す時期に風化花崗岩（ここではまさ土と呼ぶ）、神戸層群、大阪層群等の埋立材料により埋立されている。

表-1 人工島の規模ならびに埋立時期と材料

	埋立時期	主な埋立材料	面積
ポートアイランド	昭和41年度 ～ 昭和55年度	まさ土	436ha
ポートアイランド 2期	昭和61年度 ～ 現在造成中	神戸層群 大阪層群	390ha
六甲アイランド	昭和47年度 ～ 平成4年度	まさ土 神戸層群 大阪層群	580ha

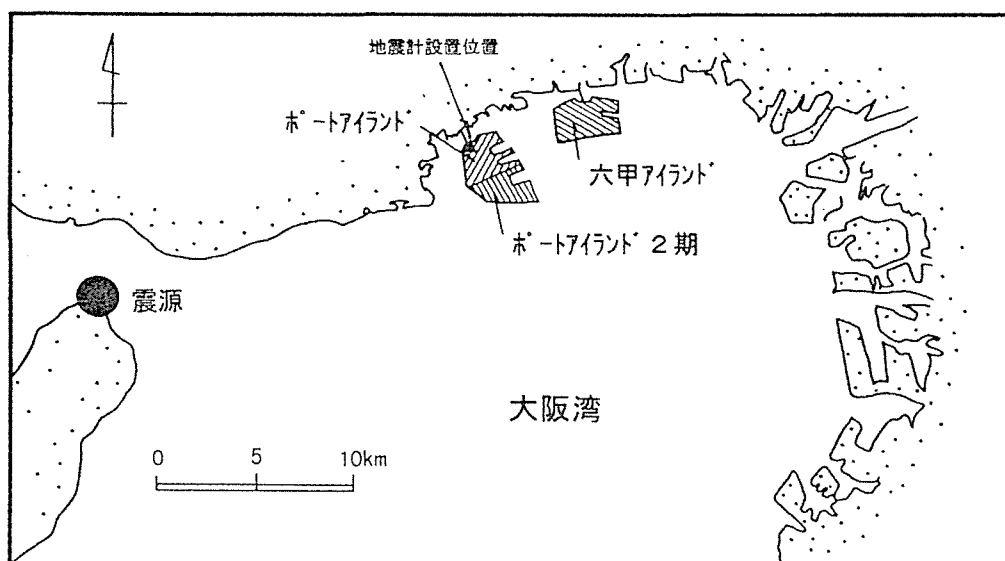


図-1 位置図

ポートアイランド、六甲アイランドの地質構成は図-2¹⁾に示すとおりであり、埋立土の下位に沖積層 (Ma13)、以下に更新世の砂層、砂礫層 (Dg1) 及び粘土層 (Ma12) が分布する。

ポートアイランドと六甲アイランドにおける噴砂区域と地盤改良区域を図-3²⁾、図-4²⁾ (P.60) に示す。これらの埋立地では、沖積粘土の圧密促進や埋立地盤の支持力増加を目的とした地盤改良が行われている。

ポートアイランド1期の島の中心部は、サンドドレーン (陸上施工)、振動締固め、プレロード及びこれらの併用で地盤改良されており、島の周辺部の港湾施設区域は地盤改良が行われていない。噴砂は、地盤改良区域ではほと

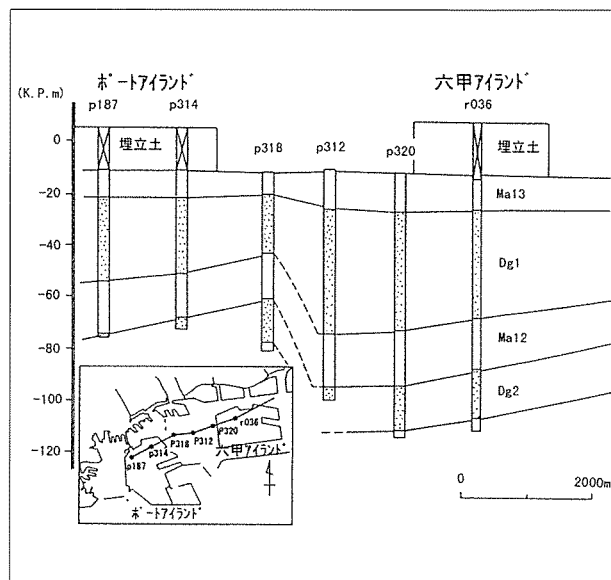


図-2 神戸港の地質構成 (東西方向)

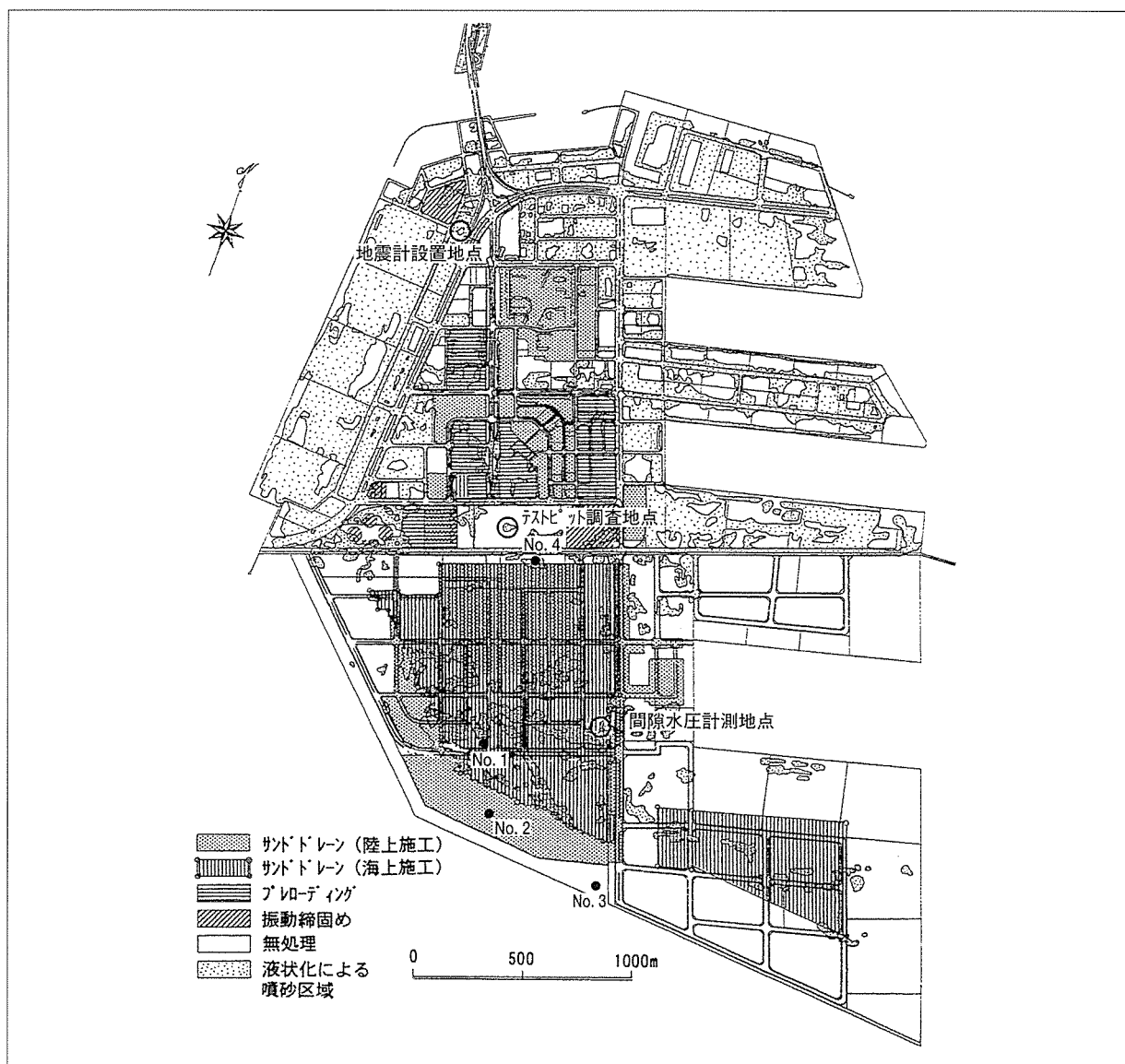


図-3 ポートアイランドにおける地盤改良区域と噴砂区域

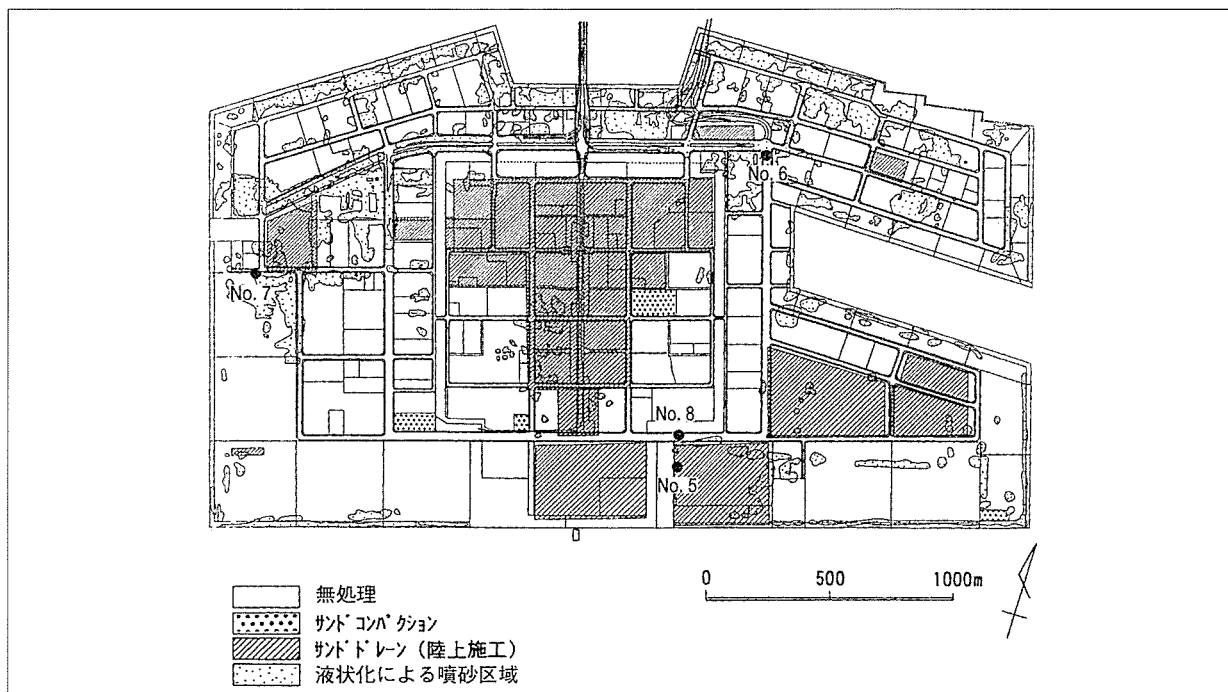


図-4 六甲アイランドにおける地盤改良区域と噴砂区域

んど発生していない。六甲アイランドでもサンドコンパクション、サンドドレーン（陸上施工）による地盤改良が施工されており、これらの区域では噴砂の発生が少ない。

サンドドレーン打設部分と無処理部分の埋立土について標準貫入試験を実施した。ボーリング地点毎に埋立土の平均N値を求めた結果を図-5に示す。これによるとサンドドレーン打設によりN値が増加する傾向が見られる。砂杭打設時の振動締固め効果によりN値が増加するとともに地震時には過剰間隙水圧の消散効果を

発揮した可能性がある。

次に噴砂は、ポートアイランド1期で広範囲に発生し、ポートアイランド2期、六甲アイランドでは比較的少ない。また六甲アイランドの埋立は北側から順次進められ、埋立材料は北部がまさ土、南部が神戸層群と大阪層群の混合材が使われた。噴砂は島の北側に集中して発生しており、中央部の地盤改良区域や島の南側の区域では少ない。すなわち、まさ土を埋立材料とした区域に液状化の発生が集中していることがわかる。

図-6 (P.61) にポートアイランドと六甲アイランドの埋立に使われた2種類の埋立材料の平均的な粒径加積曲線を示す。神戸層群と大阪層群の混合材はまさ土に比べて細粒分が多く、液状化を起こしにくい材料であることがわかる。

以上のように噴砂の発生は、地盤改良の有無ならびに埋立材料の種類により差が見られる。

3. 噴砂の形態

両島では、噴砂地点の地表部にはクラックが生じており、地震時に地中の間隙水圧の上昇に伴い、液状化した砂がこのクラックを通して噴

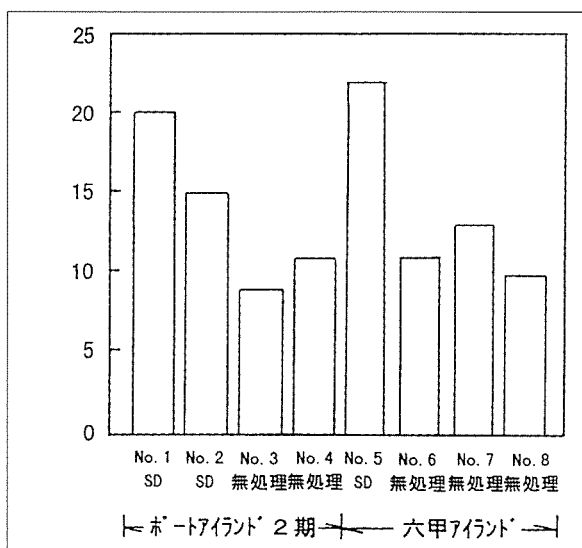


図-5 埋立土の平均N値

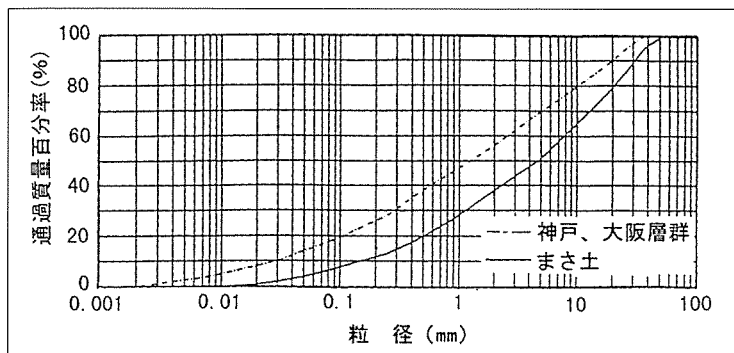


図-6 埋立材料の粒径加積曲線

出したと見られる。クラック部分をG.L.-2.5mまでピット掘削して観察したところ地表面のクラック幅は概ね1cm程度であり、最大幅は2cm程度である。クラックが閉塞した部分には局部的に噴出した砂が残っていたものの、観察の範囲ではクラック内に噴砂はほとんど残っていなかった。地震時に水とともに噴出した砂は、地震後に地中に戻ったものと考えられる。

このクラックはG.L.-2.5m以深まで続いており、砂はさらに深い位置で液状化し、噴出してきたと考えられる。

ポートアイランド、六甲アイランドでは地震後、場所によっては40cm以上の沈下が生じた。図-7にポートアイランド2期に設置された層別沈下計の観測結果を示す。

地震時の沈下は埋立土内でそのほとんどが生じており、基礎地盤での沈下は極めて少ない。このことから液状化を生じたのは、埋立土内において顕著であったと判断される。

4. 地震による間隙水圧の上昇

ポートアイランド2期で観測したDg1層の間隙水圧の経時変化図を図-8に示す。6時間ピッチの測定値を表示している。地震発生前には

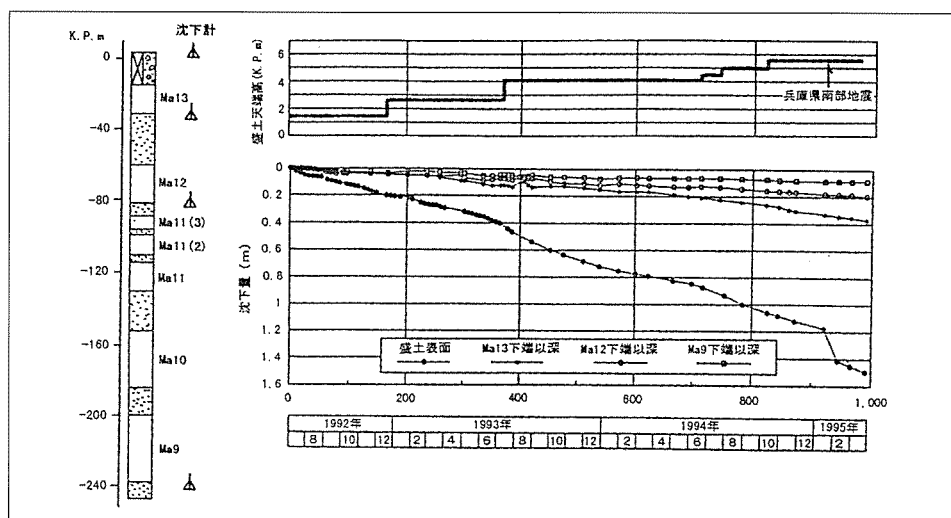


図-7 沈下量の経時変化図

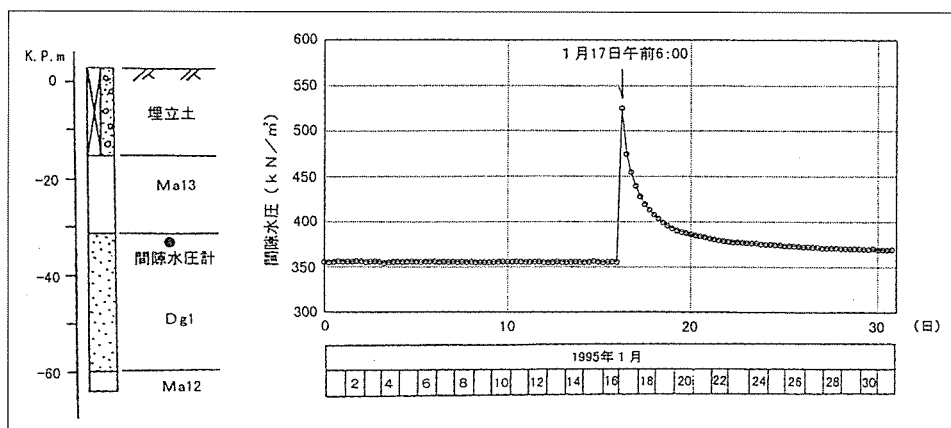


図-8 間隙水圧の経時変化図 (Dg1層)

355kN/m²であった間隙水圧が地震発生から13分後の午前6時の時点では、525kN/m²の間隙水圧を記録しており、地震により170kN/m²以上の間隙水圧が上昇した。この間隙水圧計の設置深度（G.L.-38m）の有効上載圧は343kN/m²であることから、午前6時時点で地震により発生した過剰間隙水圧は、有効上載圧の約50%となる。

このような高い間隙水圧の発生により、瞬時に埋立土を中心とした地層に液状化が生じたものと考えられる。

5. 地震波形から見た埋立土の液状化現象

ポートアイランド1期北部の4深度において鉛直アレイ観測された水平NS成分の加速度波形を図-9（P.63）^{3),4)}に示す。図-10（P.63）にはNS成分、EW成分の水平加速度の平面的な経時的变化を示す。この図から方向、大きさが特徴的な波形に着目して地震計間の到達時間を求めその時間差から地震計間の地盤のS波速度を算出した。特徴点①は特徴点②に次いでEW成分の大きい波、特徴点②はNS成分、EW成分ともに最も大きな波である。

このようにして求めたS波速度を表-2に示す。表-2には付近のPS検層で求めたS波速度ならびに重複反射計算値を併記する。この重複反射計算で求めたS波速度は、地盤のヒズミ依存性を考慮して求められたものである。地震波形に基づいて算出したS波速度は、重複反射計算値に比べると、Ma12下端～埋立土下端の間では比較的良く一致しているが、埋立土では重複反射計算値が、110m/sec に対して地震波形に基づく計算値は、76～36m/sec と著しく小さくなる。

この結果は、同じ地震波についてインバージョン解析法により地盤物性を同定した結果、地震時には埋立土のS波速度がPS検層の値に比べて液状化によって80%も低下したとの報告⁵⁾と良く一致する傾向にあり、地震発生後瞬時に液状化が生じているものと考えられる。

表-2 S波速度比較結果

地 層	S 波速度 (m/sec)			
	P S 検層 測定値	重複反射 計 算 値	地震波形に基づく 計 算 値	
			①特徴点	②特徴点
埋立土	210	110	76	36
Ma13	110	90	107	80
沖積砂	200	130		
Dg1	370	210	255	255
Ma12	260	150		

6. おわりに

まさ土は粒度分布が良いため、これまでは液状化を起こしにくい盛土材料と考えられてきたが、今回の地震でポートアイランド1期の地表面の水平最大加速度は341galとこれまでにない大きな加速度を受け液状化が発生した。その被害の実態を調査する中で、地盤改良を適切に行った地域では液状化の発生が軽微であったこと、また、液状化が比較的深い埋立土内において発生していることなどが分かってきた。さらに、動態観測計器などに地震前後の地盤情報が克明に残されており、今後これらの情報をもとに液状化発生メカニズムを検討し、埋立地における耐震対策に生かして行きたい。

参考文献

- 1) 土質工学会関西支社編：海底地盤—大阪湾を例として—，pp.資-3，1995.
- 2) 兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査（ポートアイランド、六甲アイランド）報告書，神戸市開発局，1995.
- 3) 岩崎好規：阪神域の地盤構成と平成7年兵庫県南部地震による地震記録，土と基礎，Vol.43，No.3，pp.15～20，1995.
- 4) 吉田郁政・栗田哲史：兵庫県南部地震の観測記録を用いたポートアイランド表層地盤の動特性の逆解析，土と基礎，Vol.43，No.9，pp.44～48，1995.
- 5) 國生剛治・佐藤清隆・松本正毅：1995年兵庫県南部地震での地盤の非線型震動特性，土と基礎，Vol.43，No.9，pp.39～43，1995.

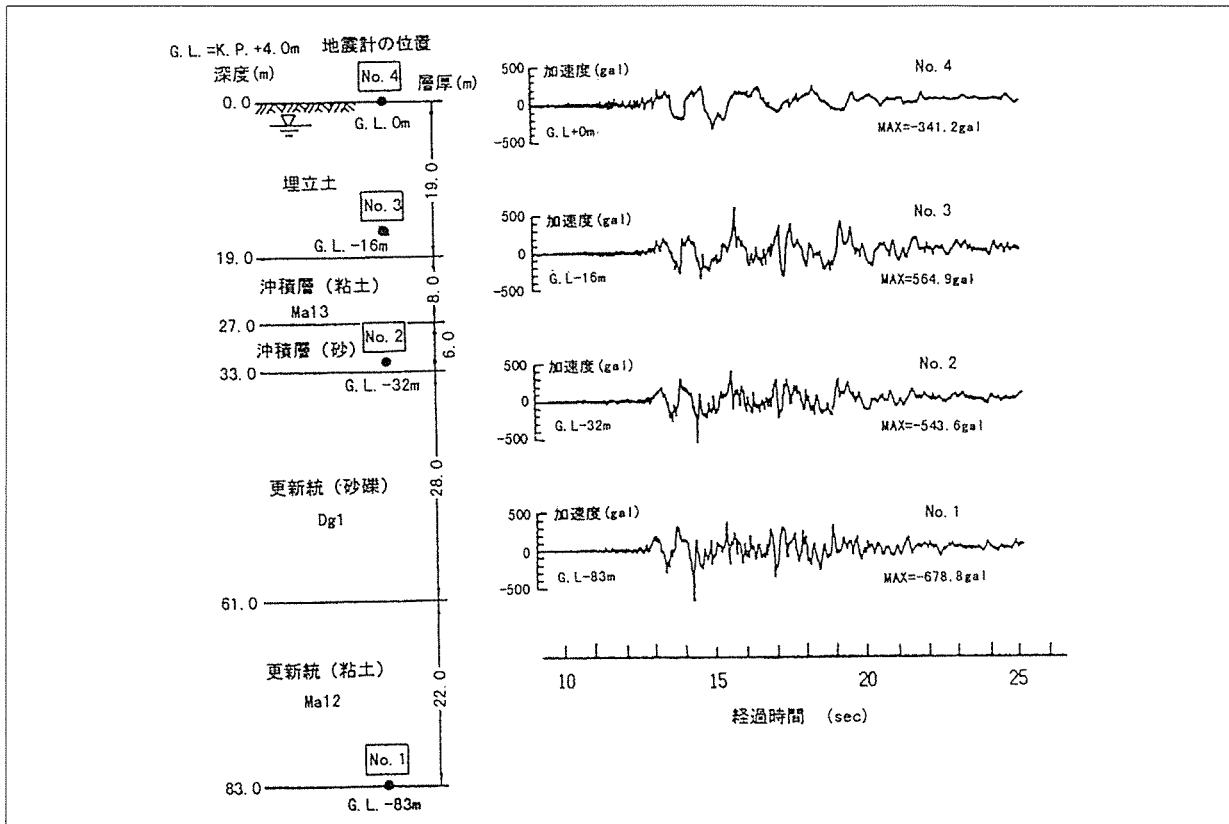


図-9 ポートアイランドにおける加速度波形 (NS成分)

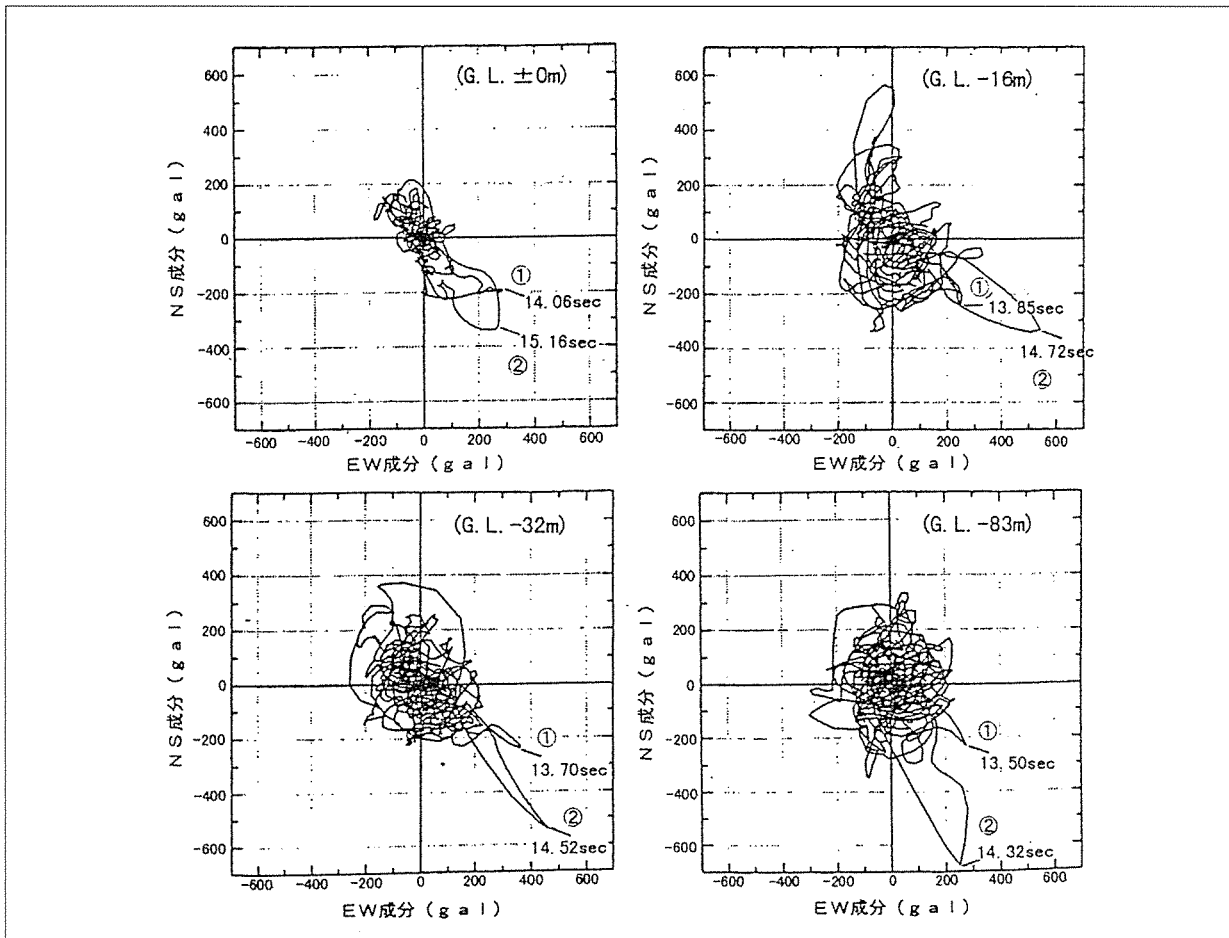


図-10 水平加速度の経時変化

矢田川累層と高根山撓曲

住鉱コンサルタント株式会社
高取 亮一／小林 浩久

1. はじめに

名古屋市東部の丘陵地帯には、広く新第三紀鮮新世の東海層群矢田川累層が分布する。この丘陵地において調査ボーリングをする機会を得た。

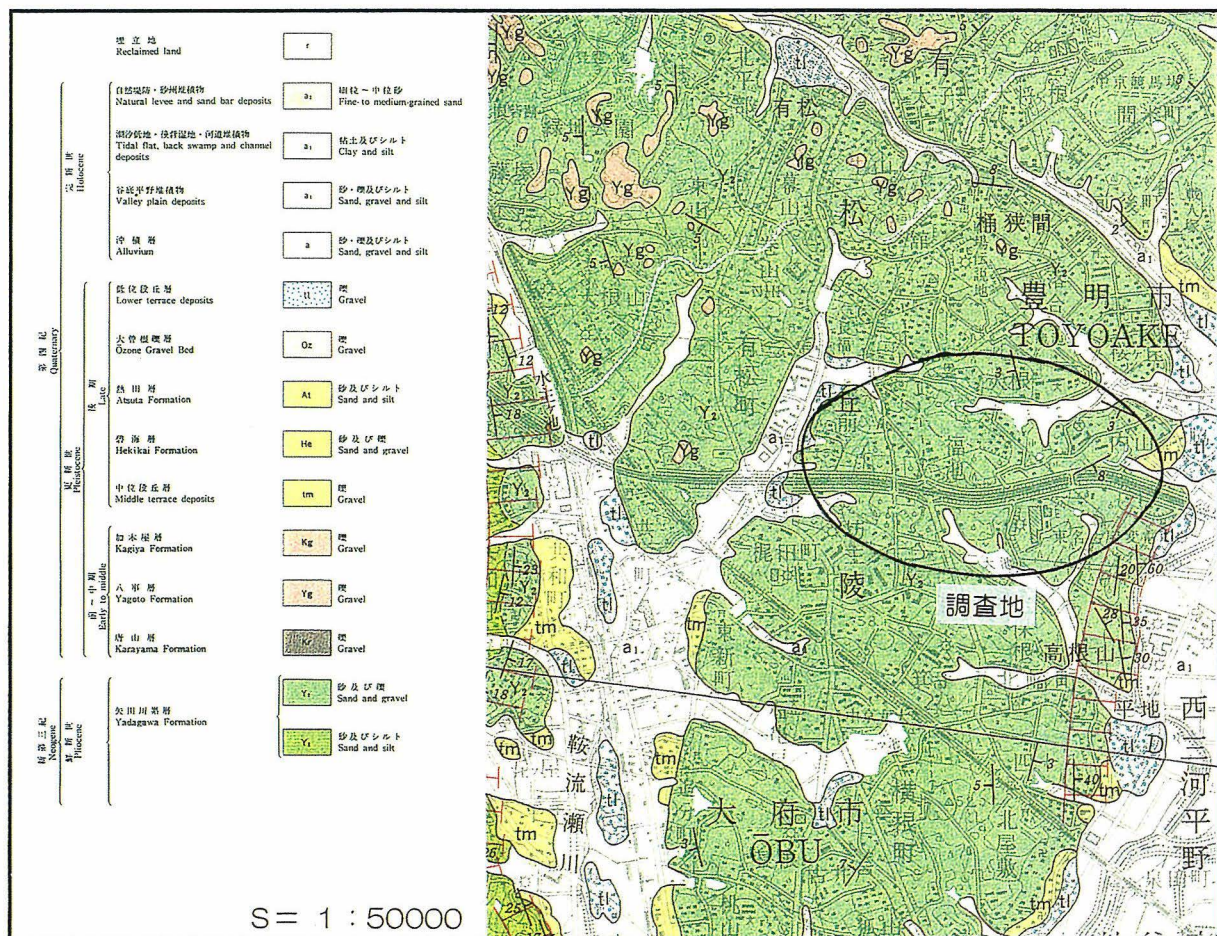
調査地は有松丘陵の東端部にあたり、東西方向の約3.0kmである。この調査地内には、近年問題となっている活断層の「猿投・境川断層」の延長と見なされている「高根山撓曲」が存在する。

調査ボーリングの深度は30～50m程度であるが、既存ボーリングを含めた各孔の地層を丹念につなぎ合わせ、全体を概観した結果、高根山

撓曲に関する新たな知見が得られた。この結果とこれらより推定される事柄について報告する。

2. 地形・地質概要

名古屋市緑区大高町から大府市を経て、豊明市に至る丘陵地は大府丘陵・有松丘陵などと呼ばれ、標高100m以下の丘陵地帯である。丘陵と西側の濃尾平野との境界は天白川であり、東側の碧海台地との境界は境川となっている。西側の境界部付近には、活断層である「天白河口断層」があり、東側境界部には猿投・境川断層－高根山撓曲がある。丘陵の中央付近には、大高



図一 地質図 (5万分の1地質図幅「名古屋南部」地質調査所,1986)

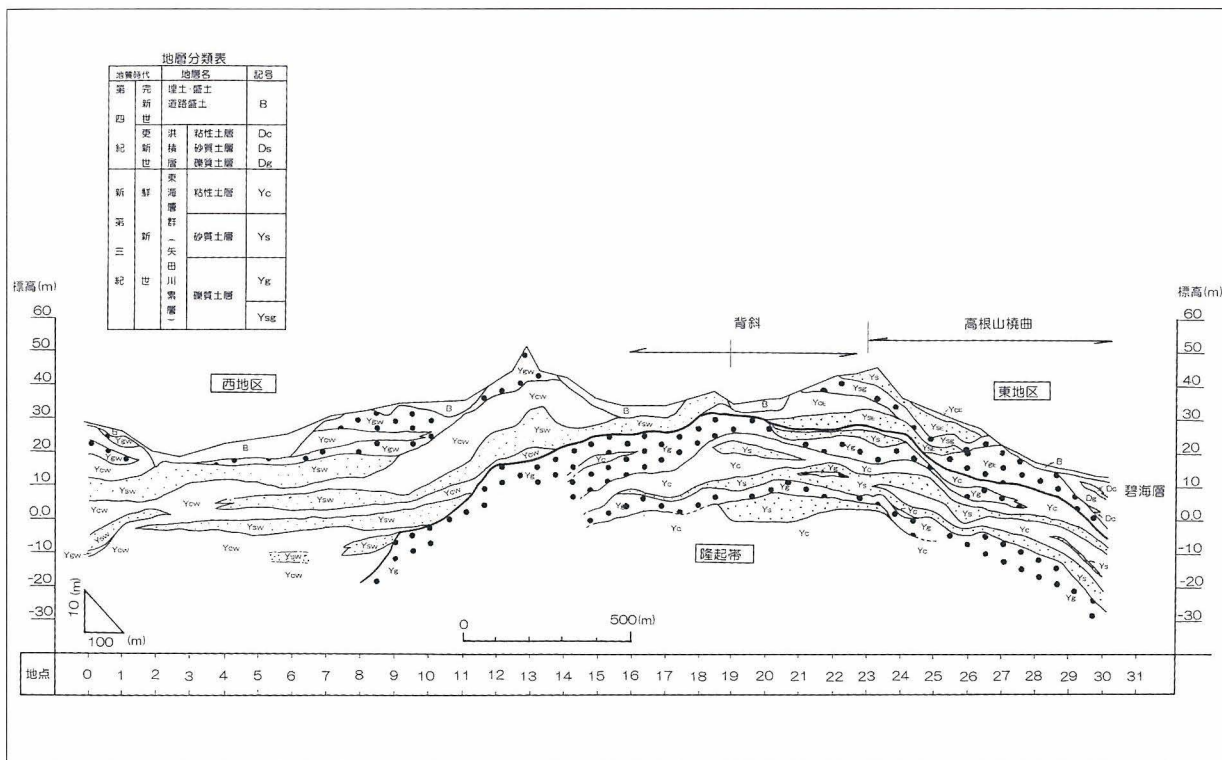


図-2 地質断面図

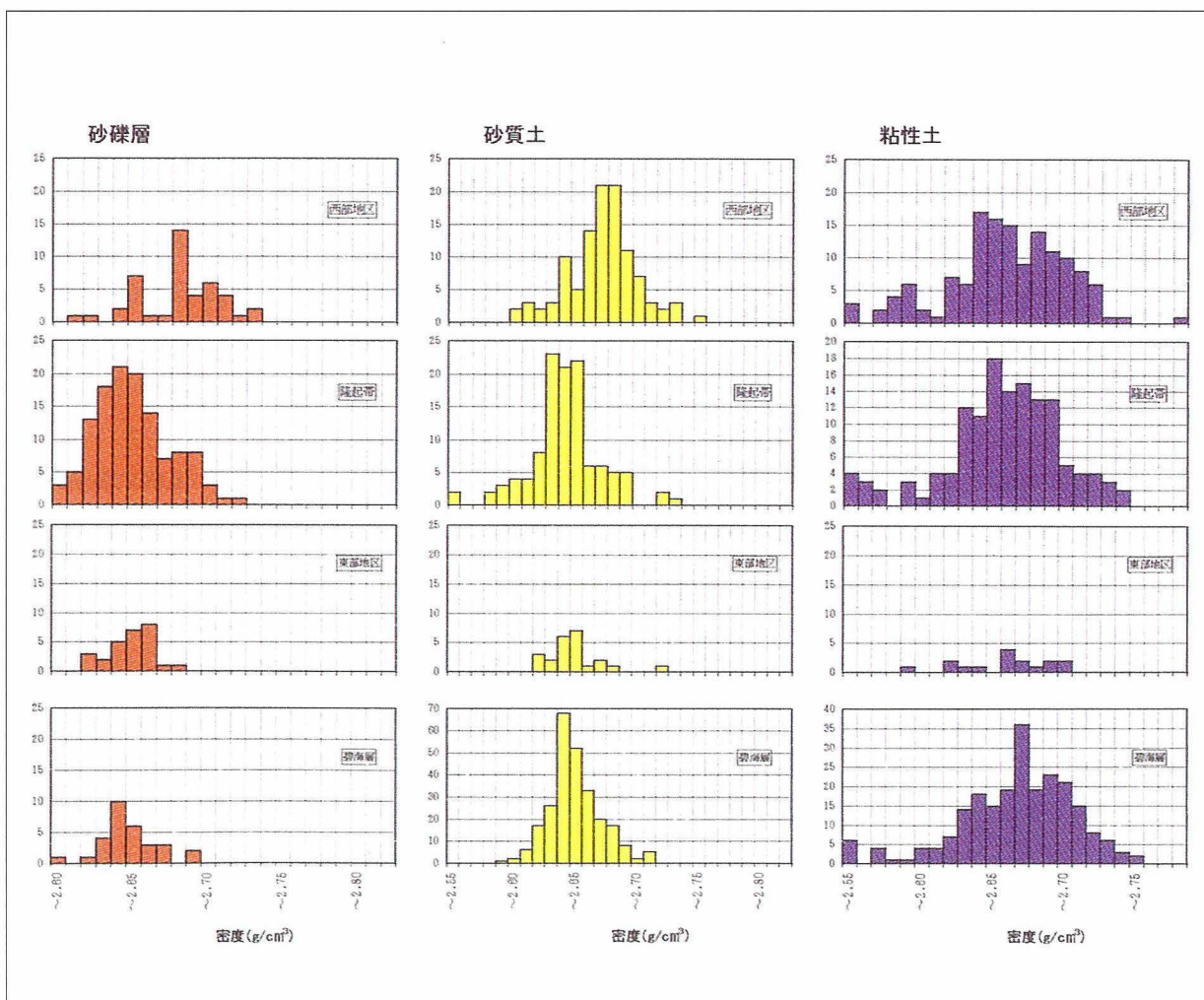


図-3 土粒子密度の頻度分布

川と鞍流瀬川に開析される谷筋が、北北西から南南東方向に延び、この付近には「大高・高浜断層(大高・大府撓曲)」が存在する。調査地は、大高・高浜断層と高根山撓曲の間である。

この付近の丘陵地は、主に東海湖の堆積物と考えられている東海層群矢田川累層の砂礫層・砂層・シルト層などが分布する。矢田川累層は、概して西側で卓越する粘性土優勢な互層(Y1部層)と砂礫・砂が優勢である互層(Y2部層)に区別される。両者の関係は、概ねY1部層が下位にあたり、Y2部層は上位と考えられている。(坂本ほ1986)

3. 調査結果と地質断面

調査ボーリングの結果では、上部の埋土層などを除くと、矢田川累層の砂礫・砂・シルト層などが分布する。地質断面図より、以下の地質状況が読み取れた。

- ① 調査地の西側地域に分布する地層は、相対的に粘性土層が多く、粘性土層と砂層の互層が卓越する。これに対し東側地域では、砂・砂礫層が多く、砂礫・砂・粘性土層の互層である。
- ② 調査地の中央域から東側地域にかけて、地点18～20付近を頂点とする背斜構造が認められた。これらは、既往地表踏査でも確認されている。
- ③ 背斜軸の西翼では、粘性土層優勢な砂・粘性土層互層が砂礫層にアバットする構造が認められる。東翼部ではこれらの現象は明瞭でない。矢田川累層内部に、部分不整合が存在する可能性が高い。
- ④ 背斜軸を構成する内部の地層は、砂・砂礫層優勢な互層である。
- ⑤ 地点24から東側にかけては、高根山撓曲があるとされるが、地層内部では各単層が東側へ階段状に落ち込む構造が認められた。

調査地全体の地質構造は、南北方向を軸とした幅2km程の背斜構造があり、矢田川累層内部に隆起帯が認められる。高根山撓曲はこの一部

である。隆起帯内部では砂・砂礫層が優勢であり、これを中心とした翼部では、各地層構成に特徴があることから、地層区分毎の特徴を調べる為、当地の地層を以下の様に区分した。

- a) 西部地区の地層
- b) 東部地区の地層
- c) 隆起帯内部の地層

各地層毎に土粒子の密度をまとめた。

4. 土粒子の密度

標準貫入試験試料を対象に土粒子の密度試験(JIS A 1202)を行った。土粒子密度は、粒径の違いによる変化を極力押さえるため、砂礫、砂質土、粘性土の3層にまとめ比較した。

① 地層毎の比較

砂質土、砂礫では東部地区、隆起帯に比べ西部地区が高い密度を示す。堆積物の供給源が異なる可能性がある。一方、粘性土には明瞭な差異が認められない。

砂礫などに含まれる径の大きな粒子は、供給源の地質(密度)を反映する一方、粘性土などに含まれる径の小さな粒子では、粒子破碎、風化、変質により供給源の地質(密度)を反映していないものと考えられる。西部地区の砂礫層、砂質土の土粒子密度が高いことは、供給源の地質(密度)の違いを反映した可能性が高い。

② 碧海層との比較

矢田川累層の上位にあたり、東側に分布する碧海層の土粒子密度を比較した。隆起帯と東部地区の土粒子密度に近く、西部地区と比較し密度が小さい。これは、現在東部地区を流下する境川の上流部に広く花崗岩が分布し、これを反映したものと考えられ、東部地区、隆起帯の矢田川累層堆積時も同様の堆積物供給源があったものと推定される。

一方、西部地区では東部地区などと比べ、堆積物供給源に比重の大きな地質が含まれ、その影響を受けたものと推定される。

5. 考 察

- ① 高根山撓曲西側の矢田川累層中に緩やかな背斜軸を確認した。
- ② 背斜軸の西翼では、隆起帯に西地区の砂層・粘性土層がアバットしほぼ水平に堆積しており、部分不整合の可能性が指摘される。
- ③ 西地区の砂層・砂礫層は、隆起帯・東地区・碧海層等と比較して土粒子密度に差が認められ、堆積環境（主として後背地の地質）の違いを反映した可能性がある。
- ④ 上位層の東西で堆積環境が異なり、一部不整合的に地層が堆積することから、この背斜軸を形成する構造運動（背斜軸部の相対的な隆起）は矢田川累層堆積時に始まっていたと考えられる。
- ⑤ 地点24～26付近の背斜構造内の地層の階段状のずれは、東側が約10～15m沈降しており、各層の屈曲部は傾斜約10度と極めて低角ながら連続的に連なっている。これは断層運動の一形態を示す構造と推定され、高根山撓曲の一部と考えられる。

6. ま と め

有松丘陵という限られた地域であるが、矢田川累層中に背斜構造が認められた。層位学的検討により、この背斜構造は矢田川累層堆積時に形成されたことが明らかになった。また、この構造運動によって高根山撓曲が形成された可能性が示唆された。

猿投一知多上昇帯の活動開始時期については、第四紀中期以降に隆起を開始したと考えられている（坂本ほか、1986）。今回の検討により、新第三紀鮮新世の矢田川累層堆積時に、既に活動の兆候のあることが推定できる。

参考文献

坂本亨・高田康秀・桑原徹・糸魚川淳二（1986）
名古屋南部地域の地質。5万分の1地質図幅、地質調査所

溶結凝灰岩における膨潤特性について

株式会社ダイム技術サービス

永井 秀明／平川 勇／前田 修

1. はじめに

岐阜県北東部は火砕流堆積物を主体とする濃飛流紋岩が広く分布する。濃飛流紋岩の原岩はおもに流紋岩～流紋デイサイト質の溶結凝灰岩である。

溶結凝灰岩は一般的に緻密、硬質な特徴を有している。しかし堅岩部では亀裂、節理の発達による落石や岩盤崩壊が問題となる。一方、風化変質岩も切土掘削直後には比較的安定し自立していたものが、時間の経過とともに強度低下により崩壊した事例が数多く報告されている。

本報告は実際に斜面崩壊現象が確認された図-1に示す濃飛流紋岩分布地帯の溶結凝灰岩を対象とし斜面崩壊に至る様々な要因のうち拘束圧に着目した、膨張特性に関して検討したものである。

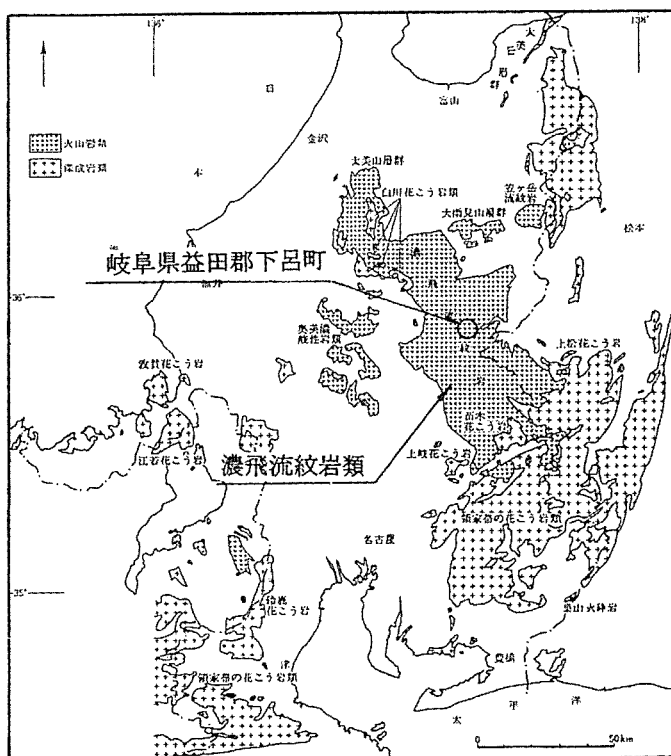


図-1 中部地方の後期白亜紀～古第三紀火成岩類の分布図
(日本の地質5.中部地方Ⅱ 共立出版より引用)

2. 吸水膨張膨潤のメカニズム

岩石の吸水膨張・膨潤のメカニズムは膨張と膨潤現象に大別される。

前者は、岩石内の有効空隙が水で飽和されることにより体積が増大する現象である。

これに対し後者は、層状格子構造をなす粘土鉱物（モンモリロナイト、イライト等）の層間に存在する交換性イオン（ナトリウム、カルシウムイオン等）の水和反応により水が層間に浸入し層間に水分子が形成されるために体積が増大する現象である。

このような体積膨張現象により、岩石の結合力が弱まり、これに伴ってせん断

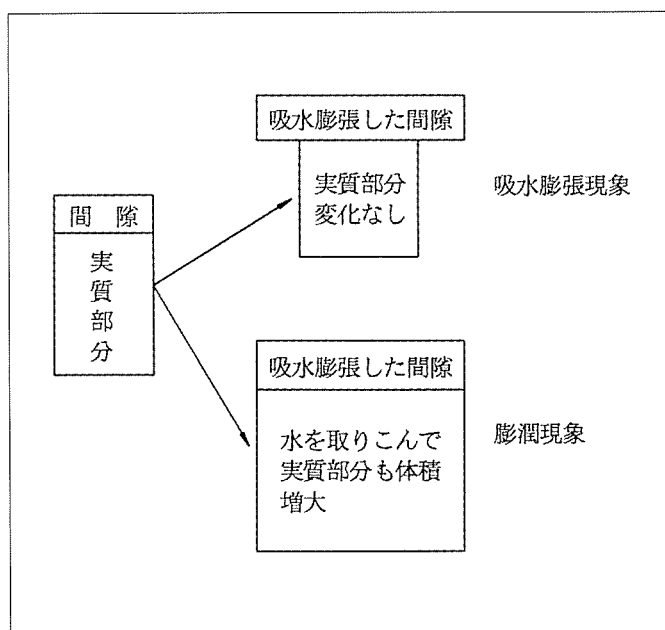


図-2 吸水膨張膨潤概要図

強度の低下を招き、この結果として切土法面の崩壊等を引き起こす。

膨潤の共通特徴としては、応力解放直後は比較的安定した切土法面であっても時間経過とともに風化、劣化が進行し崩壊に至ることが挙げられる。

3. 膨張圧測定試験

3-1 試験方法

試験は図-3に示すように圧密試験器（側方拘束試験容器）を利用することとし、各試料に対し試験容器を複数個用意し、それぞれに一定の荷重を載荷して膨張量を測定するものである。

測定終了の目安は、1日当りの変位量が前日の10分の1以下となるまで測定するものとし早いものでは48時間、遅いものでは1週間程度を要した。

膨張圧の定義は図-4に示すよう

に横軸に上載圧(kN/m^2)、縦軸に膨張量(%)をとり上載圧と膨張量をプロットし膨張量がゼロを示す上載圧とした。

また膨潤現象は含有する粘土鉱物によって支配されるものであるのでX線回折による含有鉱物測定も同時に実施した。

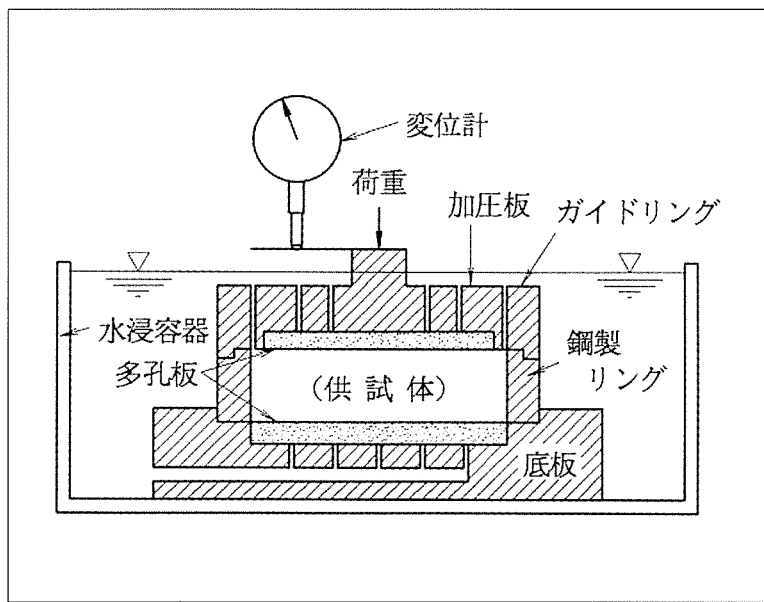


図-3 試験容器の概念図

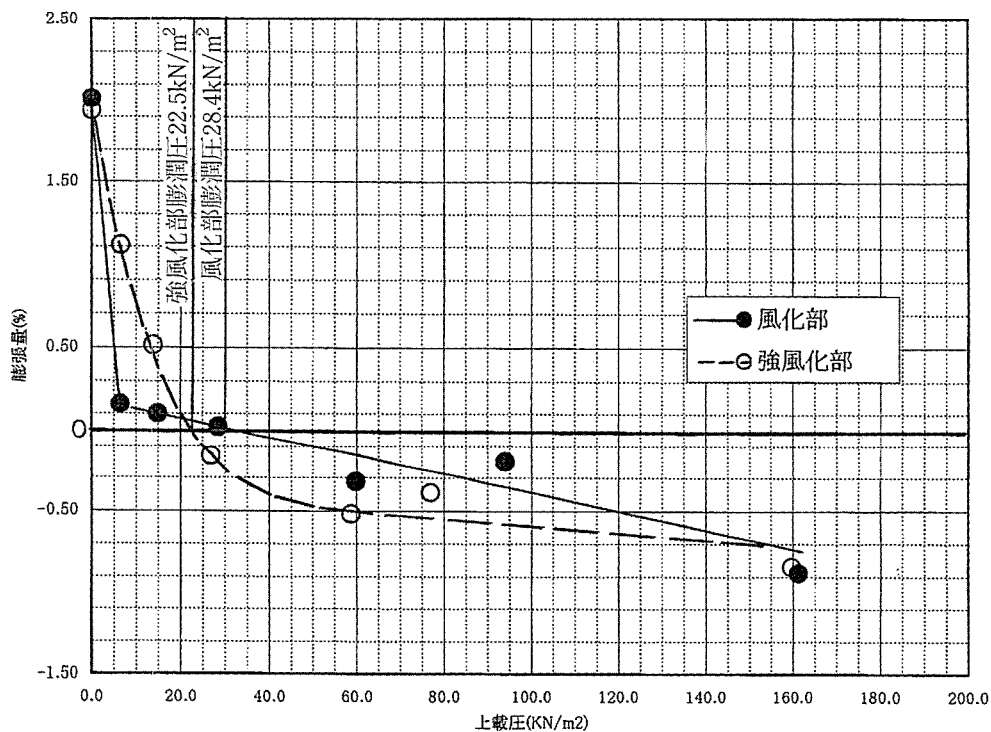


図-4 上載圧と膨張量の関係

3-2 試験試料

試験は溶結凝灰岩の風化部、強風化部2試料で実施した。以下に試験試料の一覧を示す。

表-1によれば湿潤密度は2.11~2.16(g/cm³)を示し岩石としては非常に小さな値である。密度は岩石の固結度に起因するものであり、この中でも強風化部が低めの値を示していることは、風化が進行していることを意味している。

またX線回折の結果両試料とも膨潤性鉱物であるモンモリロナイトを5~20%含有しており膨潤を起こし易い岩盤であることが検証される。

3-3 試験結果

(吸水) 膨張圧試験結果は表-2および図-4に示すとおりである。

風化部において膨張量がゼロを示す圧力(膨張圧)は28.4(kN/m²)である。また強風化部に

おける膨張圧は22.5(kN/m²)である。この結果とX線回折による鉱物含有量を対比すると膨潤性鉱物であるモンモリロナイトの含有量に膨張圧が起因しているものと考えられる。

また膨張圧を土被り厚に換算すると、試料採取地点の斜面が掘削後の時間経過とともに表層1~2m程度の深さで崩壊した事例ともよく一致している。

風化部における膨張量は、上載圧無しの状態においては2%程度の値を示すものの上載圧 $\sigma_v=6.6(\text{kN/m}^2)$ のわずかな荷重増分に対しての膨張量は0.2%以下となる。これに対し強風化部における膨張量は、上載圧無しの状態において2%程度の膨張量を示し、さらに上載圧 $\sigma_v=6.6(\text{kN/m}^2)$ においても1.2%程度と比較的大きな膨張量を示す。

この現象を鑑みると風化部の現象は吸水膨張

表-1 試験試料状態一覧表

		風化部	強風化部
風化度合		溶結凝灰岩の中でも比較的岩組織を残すもの。	破碎等により風化が進行し軟質粘土化しているもの。
湿潤密度(g/cm ³)		2.157	2.119
X線回折による 鉱物含有率%	石英	56 ~ 65	75 ~ 85
	長石	15 ~ 25	5 ~ 15
	モンモリロナイト	10 ~ 20	5 ~ 15
	雲母	5未満	5未満
	緑泥石	5未満	—

表-2 上載圧と膨張量の関係

風化部		強風化部	
上載圧(KN/m ²)	膨張量(%)	上載圧(KN/m ²)	膨張量(%)
0	2.01	0	1.94
6.6	0.16	6.6	1.11
15	0.1	13.9	0.51
28.6	0.02	26.9	—0.16
59.8	—0.32	58.8	—0.52
94.1	—0.2	77	—0.39
161.3	—0.88	159.7	—0.84

注) 膨張量は正が膨張、負が圧縮を示す。

的、また強風化部の試料は吸水膨潤的挙動を示しているようである。

時間経過とともに風化変質が進行すれば風化部は強風化部と同様に膨潤的な挙動を示すものと考えられる。

当結果より風化部、強風化部の膨潤を抑制するための上載圧の目安はそれぞれ $28.4(\text{kN/m}^2)$ 、 $22.5(\text{kN/m}^2)$ 程度であると考えられる。

4. 設計施工への適用

溶結凝灰岩の膨張圧測定試験の結果、風化部ならびに強風化部における膨張圧は $22.5 \sim 28.4(\text{kN/m}^2)$ となった。これは、切土法面工事等に伴う応力解放により上載圧が膨張圧を下回った岩盤に対してアンカー、押え盛土等による上載荷重増加工法が有効であることを意味している。

すなわち上載荷重により膨張圧以上の荷重を岩盤に載荷させれば岩盤の膨潤は拘束されこれに伴うせん断強度の低下を防ぐことが可能となる。

また地下水、雨水等は膨潤現象の直接的誘因であることは明らかであるので、ドレーン工法、水抜きボーリング等の排水工法も膨潤現象の抑制に有効であるものと考えられる。

5. 今後の課題

4. に示したように応力解放された岩盤に対し膨張圧以上の荷重を載荷させれば岩盤の膨潤は拘束される。ただし膨張圧の100%を復元して与えなければならないかどうかは様々な意見がある。

本報告においては、強度低下の要因の一つである膨張圧の測定を実施したものであるが膨潤に伴う強度変化を定量的に測定することによってより効率的な劣化抑制工が決定できるものと考えられる。

膨潤現象が要因の一つと考えられる崩壊事例の中には施工後数年を経過して崩壊が発生した

例も報告されており時間をファクターとした試験データーの蓄積が必要であろう。

また本報告は溶結凝灰岩について試験を実施したものであるが、新第三紀の堆積性軟岩（泥岩等）についても膨潤、膨張現象が確認されており他種膨潤性岩石についても同様な検討方法が有効と考えられる。

6. まとめ

溶結凝灰岩における膨張圧測定試験の結果は以下のとおりである。

(1) 今回採取した溶結凝灰岩の膨張圧は $22.5 \sim 28.4(\text{kN/m}^2)$ である。ちなみに他地区（岐阜県内の濃飛流紋岩類）事例では $20 \sim 40(\text{kN/m}^2)$ であることから濃飛流紋岩としては平均的な値を示していると考えられる。

(2) 膨張圧と含有する膨潤性鉱物の含有量には相関関係が認められる。

(3) 風化部における体積変化量は膨張的、また強風化部においては膨潤的な挙動を示す。

(4) 膨張圧以上の荷重を岩盤に載荷させれば膨潤現象を拘束できる。よって膨潤に伴う強度変化を定量的に把握することによってより効率的かつ経済的な劣化抑制工が提案できる。

[参考文献]

- 1) 日本の地質5 中部地方Ⅱ 日本の地質「中部地方Ⅱ」編集委員会編 共立出版株式会社
- 2) 土と基礎 Vol.45, No.10 Ser No.477 地盤工学会
- 3) 岩石と岩盤の知識 三木幸蔵著 鹿島出版会

地下水中のフッ素・ホウ素について

明治コンサルタント株式会社
柴田 秀道

1. はじめに

平成11年2月2日に開かれた中央環境審議会水質部会において、水質汚濁に係わる人の健康の保護に関する環境基準及び地下水の水質汚濁に係わる環境基準の項目のうち、ホウ素、フッ素及び硝酸性窒素・亜硝酸性窒素が要監視項目から環境基準に移行された。

環境庁資料¹⁾によれば、平成6～8年度調査において地下水におけるホウ素・フッ素及び硝酸性窒素・亜硝酸性窒素の検出率は、500～5,500の井戸件数に対してそれぞれ58%、35%、80%、指針値超過率は0.4%、0.9%、4.7%であった。また、1,100～4,200対象件数の河川に対しては、同様に検出率69%、71%、99.6%、指針値超過率7.4%、0.9%、0.1%であった。

上記は硝酸性窒素・亜硝酸性窒素が井戸を多数汚染し、ホウ素が河川水に多く含まれることを示している。

地下水中のフッ素及びホウ素について地質的観点からその起源について以下に述べる。

なお、フッ素及びホウ素についての化学式、工業用、健康上などの概要などを表-1に示す。

2. フッ素

フッ素は92元素中13番目に多い元素である。

鶴巻・桜本 (1985)²⁾によると高フッ素地下水の起源として、①花崗岩中の黒雲母及び黒雲母から変質した緑泥石、②花崗岩との接触部の中古生層 (ホルンフェルス)、③新鮮な火山噴出物や温泉水、④未固結の地層中の地下水をあげている。従来考えられていた螢石あるいはフッ素鱗灰石はF⁻の起源ではないとしている。

また、六甲地域では、①pHが高い (アルカリ

性) とF⁻濃度が高くなる、②水質組成の型はNaHCO₃型が多いと述べている。さらに黒雲母中のF⁻はOH⁻を置換して存在するものであるから、高いpHすなわち水中のOH⁻濃度の上昇は、黒雲母中のF⁻と水中のOH⁻との置換による溶出を容易にすると述べている。

黒雲母を多く含有する岩石は、黒雲母花崗岩、片麻岩、流紋岩、粘板岩ホルンフェルス及びペグマタイトなどがある。

フッ素について、現在歯科予防においてフッ素を取り入れるかそうでないかが大きな論争となっている。フッ素洗口、歯面塗布、歯磨き剤、水道水フッ化物添加などが主なものであるが、一般にエナメル質の結晶性を改善し、酸に溶けにくくするとされている。これはヒドロキシアパタイトの結晶のOH⁻基がF⁻と置換することにより、ヒドロキシフルオロアパタイトに変わるためである。日本の普通の水道水であれば特に問題にはならないと考える。

高濃度フッ素水への対策については、

- ① その水は利用しない。
 - ② 他の水と混ぜて希釈する。
 - ③ 高度浄化処理を行う。
- などがある。

3. ホウ素

ホウ素は一般に遊離のホウ酸またはホウ酸塩の形で地球上に広く分布している。水中においては、オルトホウ酸B(OH)₃(orH₃BO₃)の形をとっており、海水で4～5mg/l、淡水で0.2～1.2mg/l程度の濃度で存在している。オルトホウ酸は、無色、鱗片状の結晶で、水に溶け、弱酸性を示す。メタホウ酸HBO₂は、オルトホウ酸

からH₂Oを引いたものであり、温泉水分析の1物質となっている。

野田他 (1998)³⁾によると、従来堆積岩中のホウ素は海水中のホウ素が粘土鉱物に吸着され濃集されたものと考えられてきた(無機説)。無機説では、海成堆積物の頁岩中のイライトやスメクタイト中にB⁻を多く含むとされている。これは層状珪酸塩鉱物のうち2:1型構成層を有する前記鉱物中の層間に潜り込んで置換していると考えられるものである。

一方ホウ素は生物にとって微量必須元素の一つであり特に高等陸上植物に多く濃集(平均2,000ppm)していることから、生物を関与しホウ素が堆積物に濃集する可能性がある(生物説)としている。野田他によれば、表-1(P.74)に示すように河川や干潟の堆積物から高濃度のホウ素が検出されたほか、ホウ素含有量が150ppm以上で有機炭素量との間に正の相関関係が認められるとしている。一方ホウ素とK₂Oとの間に相関関係はなく、ホウ素による粘土鉱物への吸着効果は少ないと考えている。石炭火力発電所からの排水にホウ素が多いということは生物説を裏付けるものといえよう。

次に本島(1972)によれば、NaHCO₃型の水質型でB⁻が出現するのは、300℃前後の無煙炭あるいはメタンガスの発生する高地圧(25tf/m²)のところとされている。

NaHCO₃型の水質型は、停滞性の地下水に多くあらわれ、イオン交換反応が進むと考えられている。また、炭酸HCO₃⁻イオンは弱酸性を示し、物を溶かす働きを有している。

さて、日本各地で今までに知られているホウ素含有の多い地域は、北海道豊平川水系(定山溪温泉水・豊羽鉱山排水)、長崎県諫早地域(第三紀層分布域、ある特定の地層層準で夾炭層)などがある。中部地域では、岐阜県の東濃地域がある。ここには亜炭層を含む瑞浪層群が分布するほか陶磁器生産が発達していることから人為的な影響も考えられる。また、飛騨地方

では温泉水中にホウ素を含む温泉が知られている(湯平温泉25.9mg/l、ひるがの温泉109mg/l、荘川温泉9.2mg/lなど)。さらに、海水中には4~5mg/lと高濃度で存在することから、海岸近くで海水が混入する地下水及び高濃度の河川水が流入している地下水についても高濃度のホウ素水が出現する可能性がある。なお、ホウ素は海面からの蒸発で雨水に濃縮し、大気圏-水圏を循環していることがわかっている。

高濃度ホウ酸水への対策については、フッ素と同様に

- ① その水は利用しない。
- ② 他の水と混ぜて希釈する。
- ③ 高度浄化処理を行う。

などが考えられるが、高度浄化処理はフッ素浄化よりも比較的簡単な工程である。

4. おわりに

今回この技術ノートを書こうと思ったのは、今まで基準より高い濃度であっても要監視項目ということで、見過ごされてきたフッ素・ホウ素について、今後検討や対策を行う機会が増えるのではないかと思ったことからである。

今回の資料は、既存資料のとりまとめであり、自分で研究したわけではないので、学説が変わることもあるということをご了承下さい。

[参考文献]

- 1) 中央環境審議会水質部会参考資料(1999): 検討対象項目に係わるデータシート
- 2) 鶴巻道二・桜本勇治(1985): 近畿地方における高フッ素地下水の起源について、日本地下水学会会誌27巻1号
- 3) 野田雅一・掛川武・大本洋(1998): ホウ素のグローバルサイクルにおける生物活動の役割、1998年地球惑星科学関連学会合同大会

表一1 ホウ素・フッ素概要表

項 目		ホ ウ 素	フ ッ 素	備 考
元素記号		B	F	非金属元素
原子番号		5	9	
水質環境基準値		1mg/ℓ 以下	0.8mg/ℓ 以下	1999/2/22告示
水道水質基準		1mg/ℓ 以下	0.8mg/ℓ 以下	
水質汚濁防止法の 排出基準		—————	15mg/ℓ 以下	
温泉法による定義	含有量(1kg中)	メタホウ酸 5mg 以上	フッ素イオン 2mg以上	
物理化学的性状	外観	黒灰色金属光沢を持つ固体。 常温で安定。700℃以上で酸化	黄緑色の気体で塩素様の臭気。 反応性高く、常温で発火。腐食性あり。	
	融点	2,150℃	－219℃	
	沸点	2,300℃(ホウ酸169℃、ホウ砂75℃)	－188℃	
	比重	2.35(ホウ酸1.43、ホウ砂1.73)	1.516	
主な含有鉱物	鉱物	電気石、ダンブリ石	ホタル石、氷晶石、フッ素燐灰石	
	原料	ホウ酸ナトリウム、ホウ酸カルシウム		
イオンの主な 産出源	天然	火山岩地帯の地下水と温泉水 第三紀層他の堆積岩	花崗岩地帯の湧水・河川水	ホウ酸含有温泉は 食塩泉に多い
	人工	金属表面処理工場排水 鉱山排水、石炭火力発電所脱硫排水	半導体生産工場排水	フッ素は洗浄液、エッチング 液として1万t/年使用
自然界での濃度	干潟泥	68～490ppm [^]		[^] 野田他による
	河川泥	6～414ppm [^]		[^] 野田他による
	海成堆積物	平均～100ppm [^]		[^] 野田他による
	頁岩	平均～100ppm [^]		
	海水	4～5mg/ℓ [*]	1.5mg/ℓ	*オルトホウ酸での値
	淡水・河川水	0.2～1.2mg/ℓ [*]	全国平均0.15mg/ℓ、0.3～2.5mg/ℓ(六甲) [◆]	*オルトホウ酸での値
	地下水		0.0～3mg/ℓ(福岡)、2～6mg/ℓ(六甲) [◆]	◆鶴巻他による
	温泉水	0.0～5,500mg/ℓ [△]	0.0～25mg/ℓ	△メタホウ酸での値
利用		ガラス原料、陶磁器、ほうろう原料、制御棒	フッ素(六フッ化ウラン、フッ化グラファイト等の製造原料)	
		殺菌剤(ゴキブリ)・消毒剤(洗浄・うがい・洗眼)	フッ化水素酸(フロンガス、エッチング剤、アルキル化剤等)	
		潤滑剤(エンジンオイル・コーティング)	フッ化ナトリウム(殺菌剤、殺鼠剤、虫歯予防薬等)	
		化粧品、医薬品、乾燥剤、農薬、肥料	フッ化カルシウム(鉄鉱アルミニウムの精錬)	
		中性子吸収剤	フッ化アルミニウム	
効能		皮膚炎治療、胃腸障害	歯科治療用(う蝕予防)	
健康障害	低濃度	不明	斑状歯(1.5mg/ℓ以上)、骨硬化症	フッ素慢性毒性8mg/ℓ/日
	高濃度	生殖毒性、胎児体重の抑制	甲状腺障害、骨肉腫、ダウン症児	
	急性中毒	中枢神経、消化器官、血圧低下、ショック症状	消化器症状、呼吸麻痺、中枢神経	
浄化処理方式		1) キレート樹脂吸着処理法	1) CaF ₂ 処理(15mg/ℓ程度)ー水酸化 アルミニウム吸着処理(5mg/ℓ程度) ーイオン交換樹脂(1mg/ℓ以下)	
		2) 溶媒抽出法	2) CaF ₂ 含有セラミックス方式	
			3) アルミニウム処理剤AIF ₃ 固定ー CaF ₂ 置換(汚泥の削減)	

長良川・杭瀬川堤防詳細点検の現場体験談

株式会社ダイヤコンサルタント 関西・中部支社 土質部 土質課
上野 英樹

1. はじめに

調査の対象となった河川は、サツキマスで有名な長良川と、揖斐川の支流であり、上流部でホタルが見られる杭瀬川である。

杭瀬川の調査範囲の上流部は、大雨の時や洪水時に橋が埋没するおそれのある上笠橋付近から下流部は牧田川と合流する鳥江橋付近までである（図-1参照）。なお、左岸側は大垣市であり、右岸側は養老町である。

長良川の調査範囲の上流端は、岐阜城近くの長良橋付近、下流端はJR東海道本線穂積駅近くの鉄橋付近までである（図-2参照・P.76）。

調査ボーリングは堤防横断方向1断面あたり3本行った。ボーリング位置は堤内地ののり面、堤内地側天端付近、堤外地ののり面である。ボーリングを実施した本数は堤防詳細点検の調査39本と他に追加の樋門、樋管の基礎調査2本の計41本である。なお、天端のボーリングは他の2本より先行して、標準貫入試験と掘進を行い、主にN値と土質を確認することを目的として行った。のり面の2本は先行ボーリングの結果を踏まえて、現場透水試験、試料採取及び土質試験の計画を考慮し、見直しを実施して行った。

2. 現場での苦労話

前述したように調査対象の河川は2河川あったが、それぞれの河川において状況は全く違った。両河川での苦労話は後述するが、主に両河川では次のような違いがあった。

① 土質の違い

杭瀬川は粘性土、砂質土で構成され、長良川は主に礫質土、玉石混じり砂礫で構成されている。

② 調査ボーリングの作業性

前記の土質構成であるため、杭瀬川に比べて長良川の掘進能率は良くなかった。

③ 交通事情

杭瀬川は交通量が非常に少なく、運搬、仮設も管理用道路を使用して行うことが多かったが、長良川は朝夕の交通量が多く、部分的に一方通行の箇所もあり、移動が大変であった。

④ 周辺環境

杭瀬川の作業場所は周辺に民家が点在する程度であった。しかし、長良川の作業場所はほぼ市街地の中にあるといってよく、騒音には気を使った。

⑤ ボーリング調査場所

杭瀬川での作業は搬入、仮設が比較的順調に進んだが、長良川での作業は堤防の天端が県道

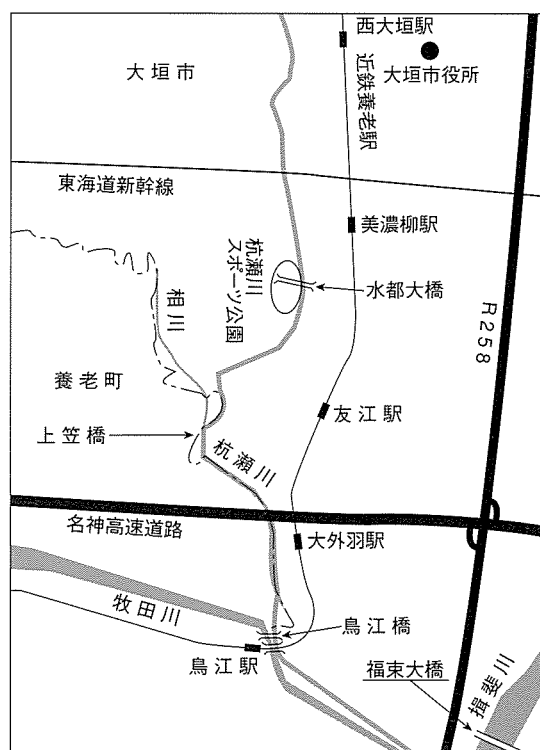
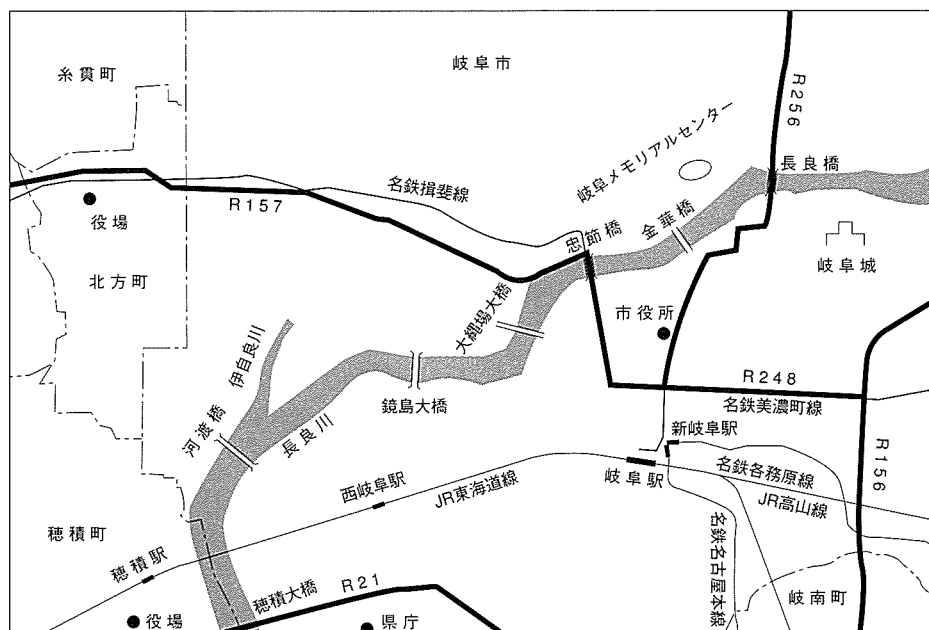


図-1 調査位置付近案内図（杭瀬川）



図一2 調査位置付近案内図〈長良川〉

や市道であったため、交通規制が必要であったり、搬入に適切な場所がなく調査場所を決定するのに手間が掛かった。

2-1. 杭瀬川の現場苦労話

杭瀬川の作業は紅葉が美しい11月半ば頃から始まり、年末も押し迫ったクリスマスのころに終了した。杭瀬川は前述したように周囲の諸事情は両河川の比較においては苦労は少なかった。しかし、あえて挙げるとするならば、土層が砂質土層と粘性土層が互層状になっているため、土質がよく変わったことである。この土層の変化は現場透水試験、シンウォールサンプリング、サンドサンプリングを行ううえで現場での判断を難しくした。

層厚、土質等について、天端において行ったボーリングである程度の予想は付けていたのですが、層厚1m未満の土層や3本のボーリング結果がまとまらないう横方向への連続性がわからない土層があり、これらの層に対する試料採取、現場透水試験を実施するうえでの問題に対しては以下のように対応した。

① 層厚が薄い場合

別孔で試料採取、現場透水試験を行った。

② 横方向への土層の連続性が不確かな場合

別孔で試料採取を行ったり、同じ層と思われ

ても余分にもう1本試料採取を行い対応をした。また、現場透水試験もほぼ同様の対応をした。

2-2. 長良川の現場苦労話

長良川の作業は暮れの足音が聞こえ始めた12月初旬から始まり、暦のうえでは立春の頃の2月始めに終了した。長良川は杭瀬川に対して、前述したように、かなり諸事情は良くなかった。特に1番最初に現場の下見をした時、忠節橋から長良川を眺めた時に河床や河原に径100～500mm程度の玉石がごろごろと一面に転がっている風景を目の辺りにし、これは基礎地盤の掘進はさぞかし大変だろうという思いがした。長良川の苦労を順番に挙げていくと次のようなものである。

① 土質の問題

長良川は杭瀬川と違い、層厚が薄かったり、土層が互層状になるということは少なく、横方向への土層の連続性もよかった。土質の問題に関しては苦労が少なく、そのため資料整理や解析をするうえでも楽であったように思える。

② 調査ボーリングの作業性の問題

堤体そのものが玉石混じり砂礫であったし、基礎地盤には玉石混じり砂礫が多かったため、掘進速度は（フォアマンによって当然違ったが、）1m/日～6m/日であった。

前述したように土質が主に玉石混じり砂礫であったことや、乱した試料を密度調整して、中型三軸圧縮試験をするためにオールコアボーリングで必要な試料の量を確保しなければならなかったため、掘進は予想どおり苦労した。そこで現場で作業足場を眺めると磨耗したメタルビットが何個も転がっていたり、種類の違うビットを試した跡もあり、フォアマンもかなり掘進に関しては苦労をしていた。また、時に掘進がむずかしい玉石にあたればたった20cmを掘進するのに2、3時間掛かることもあった。

重要な問題のもうひとつは水にあった。長良川は水辺から作業足場までの距離が長いため、作業基地から毎日水を運搬して補給していた。しかし、当然漏水が激しい箇所では持ってきた水がなくなり、そのような場合はガソリンスタンドにいった補給したこともあった。

③ 交通状況の問題

長良川の日端道路は市内の幹線道路になっていたり、バス路線であったり、信号が少ないこともあって非常に交通量が多い場所であった。特に朝夕のラッシュ時は信号を2、3サイクル程度待つのは当たり前であった。昼間であれば5km程度移動するのに7～8分程度であるところが20分程度かかったこともあった。

1調査断面に1人現場管理者が付いて、携帯電話を持って対応したため、殆どの用事は電話連絡で済むのだが、試料、資材の運搬等で移動する時は大変であった。特に右岸から左岸、またその逆も大変であった。何が大変かというと、堤防道路から橋を右折する時などは、一部が右折禁止の場所であったり、橋と堤防道路が立体交差しているため、直接橋に合流できないこと等である。また、長良川左岸は一部で道幅が狭いため、ダンプ、大型車とのすれ違いは怖いものがあった。

④ 周辺環境の問題

長良川は一部が市街地にあるため、エンジン、ポンプの騒音、ケーシングの挿入時、標準貫入

試験時のハンマーとノッキングヘッドの衝撃音には神経を使った。

エンジン等の騒音は昼間(もちろん作業は夜間に行っていない)の自動車等の騒音と比べるとそれほど気になるものではなかったが、N値50以上の標準貫入試験は予備打ちから金属音が出るため、民家が近い場所では早く現場が終了できるよう祈るのみであった。

作業現場の周辺は、午後三時を過ぎると犬の散歩をする人やジョギングをする人が多くなってくるため、安全管理には気を使い、日が短くなってからは日が暮れてから、安全点検をしたのにもかかわらず、さらにもう一度現場にもどって点検したこともあった。

⑤ ボーリング調査場所の問題

ボーリング調査場所はある決まった区間で候補地を選定するのであるが、次の3点を優先に選定した。解析断面を考えるうえで、キロ程の区切りがよい場所、断面と直接合う場所、交通規制を掛けずに搬入のし易い場所を選んだ。

しかし、先行して行う天端のボーリングは良かったが、堤内地側、堤外地側は大変だった。

それは堤外地側では搬入路がない場合、公園の一部を通過する場合、搬入路があっても悪路がある場合、また、堤内地側は見通しの良くない道路の付近、道路がボーリングの真横である場合などいろいろあった。

3. 終わりに

最後にこの業務を実施して、以下のような点で良いとの感想をもったことを述べてこの体験談を終りたい。

① 土質調査を行うにあたり、粘土～砂～玉石混じり砂礫までの標準的な堆積の1サイクルの層に接することができたこと。これは試料採取(固結した粘性土などは除く)、現場透水試験も含めてである。

② 土質力学、水理学、河川工学、水文学で習ったことを再認識できたこと。

超音波の地盤工学的利用について

株式会社新東海コンサルタント
西堀 高弘

1. はじめに

最近、超音波を照射してがん細胞を壊死させる技術や細管の探傷ロボットなど、超音波技術が非常に多く使われるようになってきました。超音波技術は1950年頃から急速に発展し、今日きわめて多様な用途に使われるようになっております。人の耳に聞こえる範囲よりも高い周波数の弾性波や物体の振動を超音波と言い、その周波数範囲は15kHz程度から1000MHz以上まで及んでいます。ここでは一般土木の分野ではあまり馴染みの薄い音波の基礎的な話から、超音波の応用技術および土木工学的利用と土質試験に使用した例を紹介します。土木の分野においても、一部の機関でその導入が開発・研究されつつあります。このような技術は地盤工学ではまだ未開の分野であり、これから地盤の調査・計測・試験等大いに取り入れることが可能な技術と考えられます。ここでは超音波への理解と同時に超音波の新たな利用法を考えたいための、一助なればと初歩的な面から記述してみました。現場的な発想からこのような技術の可能性を検討していただき、積極的かつ建設的な活用が計られるようになれば幸いです。なお、本報告には、大同工業大学建設工学科桑山忠教授および三重大学生物資源学科井上宗治教授からの資料提供とご指導をいただいております。

2. 超音波とは

2-1 音波とは

振動が空気や水や固体などの物質（媒質）の中を伝わっていくものを音波といいます。

音波はある一定の速度（音速）である方向に進みますが、媒質の各部はそれぞれ一定の場所を

中心に振動するだけで、進行しません。そのため、媒質がお互いに近ずいて密度が高くなる場所（密）と、お互いに離れて密度が低くなる場所（疎）ができます。この関係を図-1に示します。

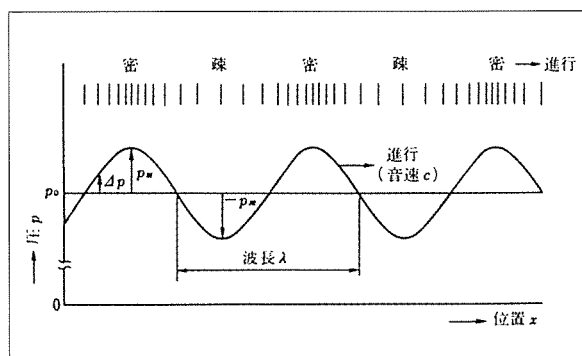


図-1 音波（空気の圧と疎密）

この密になったところでは圧が高く、疎になったところでは圧が低くなります。ただし、一般的な音波の波形は図のような単純なものではなく、図-2に示されるように圧と密度は複雑に変化しております。

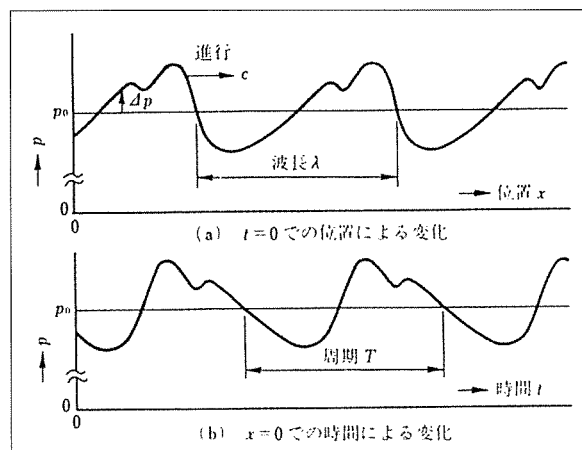


図-2 音圧の位置変化と時間変化

これらの図に示されるように一定の大きさと高さ（振幅）の音は、一定の波形を繰り返しています。この一つの繰り返しの時間を周期、位置の変化を波長を言います。

周期が T [秒]のとき、毎秒の繰り返しの数 $f=1/T$ [Hz]を周波数と言います。

一般に周波数の低い音は低く感じ、高いものは高く感じます。高い周波数とは1秒間の振動数が多いということで、5kHzは1秒間に5000回も振動することです。

音波の振幅は音の強さに関係し、音圧で表されますが、音の圧は非常に大きな可聴音でも音圧は、100(Pa)程度で、大気圧（ほぼ10万Pa）に比べ非常に小さいものであります。また、音の強さを表すのに音圧の代わりに、音波の進行方向に垂直な単位面積を通過する音のパワー密度(W/m^2)でも表わされます。

音波は媒質そのものが進行するわけではなく、波の進行とともにエネルギーを運びます。

人の耳はどんな周波数の音でも、どんな強さの音でも聴こえるわけではなく、聴こえる音を可聴音と言います。

可聴音の範囲は、どんな人でも16Hzより低い周波数の音、20000Hzより高い周波数の音は聴くことができません。また、この周波数の範囲内でも、音がある強さ以上でないと聴こえないし、ある程度以上の強さの音は、耳が痛くなります。人が聴くことができる可聴音の範囲の典型的な例を図-3に示します。

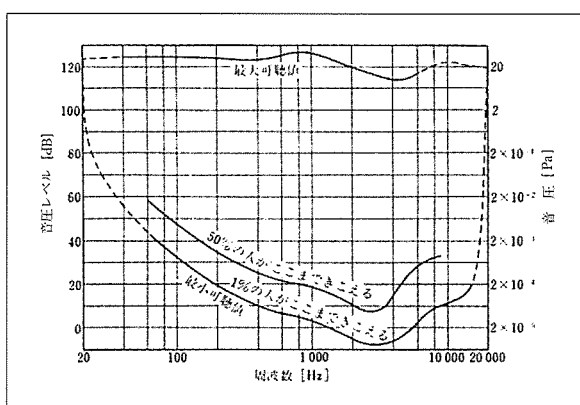


図-3 人の聴覚の範囲（強さと周波数）

2-2 超音波とは

超音波は可聴音と比べて、周波数が高いという物理的な差異があるだけで、音波と本質的には変わりありません。超音波の定義は一定して

いないが、一般的に「人間の耳に聞こえないほど周波数の高い音波」としてしています。

2-3 超音波の特徴

超音波の特徴は表-1で次のようになります。

表-1 変位の振幅 $1\mu m$ の平面波の音圧とパワー密度

物質	f [kHz]	ξ [m]	p [Pa]	I [W/m ²]
空気	10	1×10^{-6}	25.7	1.6
	100	1×10^{-6}	257	160
水	10	1×10^{-6}	9×10^4	56×10^2
	100	1×10^{-6}	90×10^4	56×10^4
溶融石英	10	1×10^{-6}	75×10^4	473×10^2
	100	1×10^{-6}	750×10^4	473×10^4

(1) 周波数の高い超音波は小さい振動変位 (ξ) で高い音圧 (p) と強いパワー密度 (I) をもつ。

(2) 超音波は気体中では減衰しやすく、液体や固体中でよく伝搬する。固体中では縦波以外に横波や表面波も存在する。

(3) 周波数が高くなるにつれて波長が短くなり、光のように直進するようになる。

例えば、水中では周波数100kHzの超音波の波長は、約1.5cm、1MHzでは約1.5mmになる。そのため、超音波送波器や受波器の振動面の寸法を大きくしなくても鋭い指向性が得られる。

(4) 液体中に強い超音波を放射するとキャビテーション（空洞化現象）を容易に引き起こすことができる。

超音波の工学的応用では音圧の最大値が媒質の静圧の何倍にもなる波を用いる。この場合、図-4 (P.81) のように正の半周期では瞬間音圧が静圧(p_0)の何倍にもなるが、負の半周期では圧が負になることはできないから真空になる時間が生じる。このとき、媒質中に溶けていた気体が気化して多量の気泡を生じるキャビテーションと呼ばれる現象が起きます。

この強さは、圧力の低くなる半周期（負圧）では真空（ゼロ気圧の空洞）になり、この真空状態のために、媒質自体や溶け込んでいた気体が気化し、多量の細かい気泡が発生する。反対に、圧力の高くなる半周期（正圧）には、瞬時圧力が静圧の倍以上になり、気化した小さな泡

がつぶされて強い高圧（計算によると数百気圧とも数千気圧にも及ぶともいわれている）が生じたりする。

この現象によって媒質の酸化作用、粒子の破壊作用、攪拌作用、発熱作用などが生じ、乳化や分散などにも利用されております。

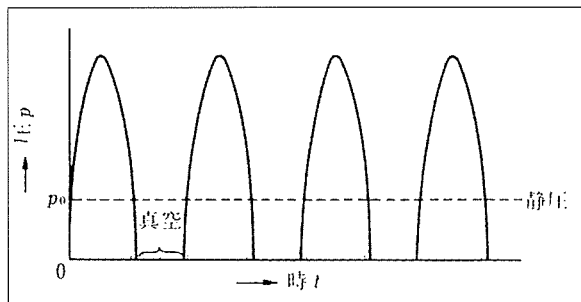


図-4 液体中の超音波の概念図

2-4 超音波の応用

成書に一般的に述べられている超音波の応用事例を列記すると以下のようにです。

基本的には超音波の情動的利用と力学的利用に分類されるが、それら相互は錯綜することも多く、超音波によるエネルギー付加を超音波で測定するような必ずしも一面的な使用法だけではないようです。

(1) 超音波の情動的応用

- (a) 音響測深(海底探査、ソナー、積雪計等)
- (b) 水中物体探査(魚群探知器、潜水艦探知等)
- (c) 超音波探傷器(非破壊検査、板厚測定等)
- (d) 超音波診断装置(超音波診断装置(エコー))
- (e) その他の応用

水中通信、TV情報などの遠隔操作、監視警報装置、積雪計、パイプ類の傷または漏れの検査、音楽や室内のバックグラウンドへの応用(精神や心の安寧と不快感の解消等)、

(2) 超音波のエネルギー的応用

- (a) 超音波機械加工(金属やガラスや陶・磁器などの穿孔・加工)
- (b) 超音波切削(金属材料の切削)
- (c) 超音波塑性加工(塑性抵抗減少針金加工)
- (d) 超音波溶接(金属やプラスチックあるいはアルミニウム等)

(e) 超音波洗浄(液体中の洗浄は簡単)

(f) 乳化、分散、凝集(水と油の乳化、固体粒子の分散・凝集等)

(g) その他の応用

冶金、はんだ付け、メッキ、疲労試験、化学作用促進、水質浄化、物質の微粒子化、液体の混合・乳化、医用治療(ガン治療用メス、病巣組織の破壊、白内障手術、歯科治療等)、美顔や風呂の浄化、酒類の熟成、

3. 地盤工学への利用

超音波のエネルギーとキャビテーション効果の利用は、地盤工学のあらゆる分野で活用が可能であると考えられます。いろいろ試行錯誤されている状況であり、ここでは現在使用が開発・検討されているものから、将来的に利用可能な事項について私見を交えた参考意見を列記します。

(1) 地盤改良工への利用

軟弱地盤中の土中気泡の除去に伴う改良作用、砂・礫粒子の再配置による安定化、液状化対策(振動による密実化と砂粒子内の気泡除去による砂粒子の再配列効果)

新しい軟弱地盤対策の可能性(地盤中のミズ道的導孔を活用した脱水と脱気および土中水自身の振動による土性改良)

(2) 砂地盤の締固め

大同大学の超音波締固め試験に関する一連の研究および現場実験等でも検証されており、液状化対策として有効性が認められている。

(3) 室内土質試験への利用

土粒子の密度試験や粒度試験に超音波を用いる試験法が幾つか提案されつつある。

土質試験で考えられる超音波を利用した場合の改良可能な事項を列記すると以下のようなことが考えられます。

(a) 土粒子の密度試験

土粒子の密度試験の脱気、ピクノメーターの洗浄、使用水の脱気

(b) 粒度試験

試料の分散、使用水の脱気、フルイの洗浄
水中フルイ分けの可能性

(c) 液性限界

ペースト状の試料の脱気、使用水の脱気、黄銅皿の洗浄

(d) 収縮定数試験

脱気水の使用、収縮皿への詰込み

(e) セン断試験・圧密試験

試料中の脱気、三軸試験水の脱気、試料の乱れの判定、試料中の不均一の判定

(4) ボーリング調査への応用(泥水処理、孔内探査、地下水探査、地層解析)

泥水の乳化・活性化、泥水処理法の開発、孔内探査、孔壁解析、削孔整形、地下水の流向・流速測定、地層解析法の開発等、以上

図-5は初期に20kHzの振動発信器を使用して水中照射で脱気した試料と学会規準に従った煮沸真空法と比較したものです。

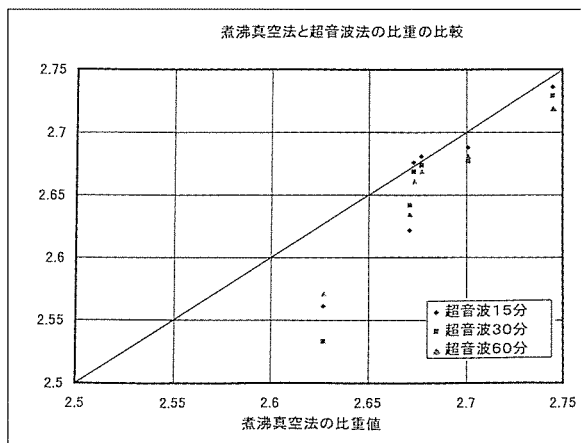


図-5 煮沸真空法と超音波法の比重値の比較
(三重大学生物資源学部井上研究室資料より)

図-6は発信器の周波数と照射時間を変えたデータで、精度は格段に向上しています。

密度試験では従来の試験法と比較すると試験そのものが簡便であり、試験誤差も最小にでき、簡便な試験法に規準化することが可能です。

図-7は近隣で採取した典型的な粘性土と砂質土の粒径加積曲線である。超音波の照射はJIS法の最終攪拌時に使用しました。

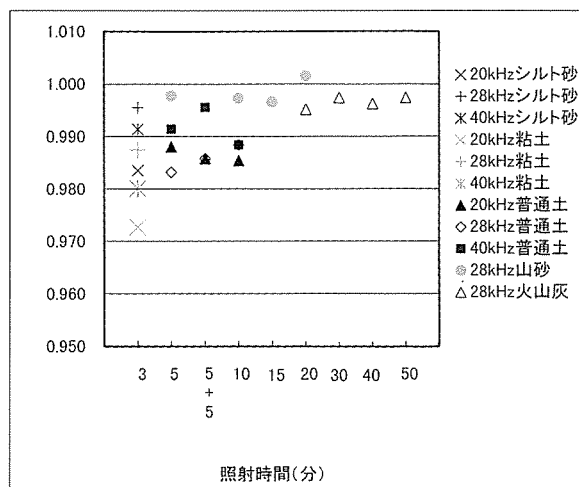


図-6 超音波による密度試験結果
(大同工業大学建設学科桑山研究室資料より)

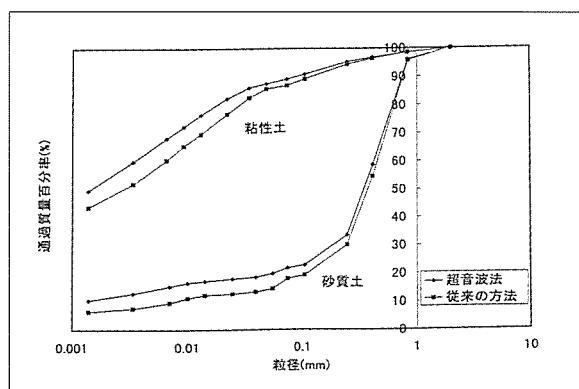


図-7 JIS法と超音波法の粒径加積曲線
(三重大学生物資源学部井上研究室資料より)

参考文献

- 1) 西巻正郎著：電気音響概論、森北出版(株)、1990.2
- 2) 川端 昭著：やさしい超音波工学、(株)工業調査会、1991.7
- 3) 辻・桑山・寺本：超音波を利用した砂の締固め、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、1992.3. その他多数
- 4) 小宮・新城・島袋：島尻層泥岩の粒度試験における超音波処理の有効性、農業土木学会誌、55(9)
- 5) 河津・桑山・他2名：超音波を利用した土粒子の密度測定、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、1998.3.
- 6) 乾尚文：土の物理試験における超音波利用の効果、平成9年度三重大学生物資源学科卒業論文、1997.3

平成11年度 技術研修会を終えて

研究委員会副委員長

藤井 紀之

(玉野総合コンサルタント株式会社)

平成11年度の技術研修会は、会員企業を中心に35人の参加者（うち2名は当日欠席）を得て5月19、20両日にわたって盛況裏に実施された。今回の研修は東海北陸自動車道飛騨トンネルの工事現場見学を目玉として計画されたもので、全般の指導を名古屋大学名誉教授水谷伸治郎氏（現日本福祉大学教授）にお願いし、見学地の案内・解説は安江勝夫（応用地質㈱技師長）伊熊俊幸（ダイヤコンサルタント㈱名古屋支店副支店長）の両氏が担当された。

今回は水谷先生の強いご希望もあって、4月に4人で予察を行い見学コース、見学内容をあらかじめ十分に検討し、それぞれの場所での説明担当者を決め説明資料の執筆をお願いした。お蔭で研修会当日には、水谷先生の解説を巻頭に、合計57頁に及ぶ充実した資料集を参加者に配布することが出来た（図-1）。その内容は多岐にわたっているが、今回の重点的な見学地となった^{ながわお}奈川渡ダムおよび^{あぼう}安曇発電所、安房トンネル周辺の第四紀火山と地下水、それに飛騨トンネル工事現場の3カ所については、あらかじめお願いした3人の方に見学記を寄稿して頂いた。それぞれの状況は、3人の方の見学記と写真によって詳しく紹介されているので、そちらをお読み頂きたい。そのほか、オルドビス紀とされる珊瑚の化石を中心に、多数の鉱物や化石標本を展示する福地の「ひだ自然館」、中生層を覆う乗鞍熔岩にかかる平湯大滝などの見学に加え、現在R158沿い

で施工中の東海北陸道の大規模土木工事を伊熊氏の解説によって車中から見学した。水谷先生も、予察旅行の際これらの多彩な見学候補地を見、また安江・伊熊両氏の説明を聞いてすっかり感心され、日本福祉大学の学生さん2人を是非見学に加えて欲しいと申し出られた程であった。

ところで今回の研修の骨格とも言える水谷先生の解説が資料集の巻頭に掲載されている。その内容は車中で何回かにわけて説明されたが、ここでは紙数の関係上二つのテーマについて先生の説明を要約してご紹介したい。以下はそのほんの「さわり」である。



図-1 研修会のコースと見学地



写真-1 乗鞍熔岩の末端にかかる平湯大滝（高さ64m）

【その1】日本列島の中でも、中部山岳地帯を含む中部地方は地形が最も急峻であり、地殻変動の影響が顕著に現れている地域である。今回のコース外であるが、西穂高の近くに分布する滝谷花崗閃緑岩は、地球の表面に露出している花崗岩類の中で最も年代が若い（1.9–0.8 Ma）。100～200万年前に地下深部に貫入・固化した岩体が地上に現れているということは、第四紀以降のこの地域の隆起運動がいかに急激なものであったかを物語っている。岐阜県飛騨川沿いに露頭している日本最古の岩石である上麻生礫岩中の礫（約20億年）ならびに、この地表の花崗岩としては世界最新の滝谷花崗閃緑岩の存在は、日本列島における中部地方の地質学的な特徴を象徴している。



写真-2 飛騨トンネル避難坑切羽のTBM（愛称天生太郎）
左から水谷・伊熊・安江の各氏、後ろはご案内下さったJVの太田所長（飛島建設(株)）

【その2】卑俗な例えだが電車で私の両隣に未知の人が座っている時、私達を「3人連れ」と思う人がいるとしたらそれはとんでもない間違い

である。しかし地質構造を見る時しばしば同様な錯覚に陥ることがあるので注意せねばならない。よく知られているように中部地方の内帯は、北から飛騨帯・飛騨外縁帯・美濃帯と並ぶ三つの要素からなっている。飛騨帯は飛騨変成岩類とそれを不整合に覆って局地的に分布するジュラ・白亜系の手取層群からなる。美濃帯は付加性の複合岩体で、二畳・石炭紀（緑色岩、石灰岩）、三畳紀（主にチャート）などの地層が含まれるが、主体はジュラ紀後期～白亜紀前期の泥岩砂岩である。そして中間の飛騨外縁帯は、福地の自然館で見たように古生代から中生代に至るいろいろな時代の堆積岩からなり、その幅は僅か数kmに過ぎない。今通った牛丸の化石床は淡水～浅海のしじみの化石で、恐竜の化石で有名な飛騨帯の手取層群の化石であり、その環境は浅海の堆積物であった。一方美濃帯の堆積物は深海性または遠洋性のもので、堆積した時代は一部では手取層群とほとんど同じであるにも拘わらず、手取層群とは全く異なる環境下で堆積した。最近美濃帯と酷似した地質体が東アジアの各地から報告されており、多くの証拠から見て日本の美濃帯は恐らく中国大陸南部付近のプレート収束域で形成されたのではないかと推定される。

トンネルの見学を終わり帰路を急ぐバスの中で、約20分にわたって静かに説明される先生のお話は研究室での講話そのもので、多くの参加者にとっても印象深いものであったと思われる。

終わりに研修会の企画に始まり、資料作成・案内・解説に多大のご尽力を頂いた安江勝夫、伊熊俊幸の両氏に、紙面を借りて厚くお礼を申し上げます。

研修会参加記 (ダムに関して)

中央開発株式会社 中部支店
楠本 和彦

今回の研修会では、初日（5月20日）に中央道から松本経由で安房トンネルへ向かう途中で、梓川水系の奈川渡ダム（アーチダム）と揚水式安曇発電所内を見学しました。また、2日目には高山から荘川村を経て白川村の飛騨トンネル工事現場へ向かう途中でバスの車内または車外において、庄川水系の御母衣ダム（ロックフィルダム）、鳩谷ダム（重力ダム）を見学しました。表-1にこれらのダムの諸元を示します。

バスの車内においては、ダイヤコンサルタント(株)の伊熊さんに、中部地方に点在する主要なダムについて、位置・ダムタイプ・分布地質

との関係等についてまとめた資料集を基に分かり易くご説明頂きました。

また、奈川渡ダム及び安曇発電所の見学の際には、東京電力の職員の方に構内をご案内頂きましたが、その際お話し頂いた内容は、だいたい次のようなものでした。

○奈川渡ダムのダム高さ(155m)は日本で6番目くらいの高さであり、アーチダムでは黒部ダ



写真-1 奈川渡ダムと乗鞍岳

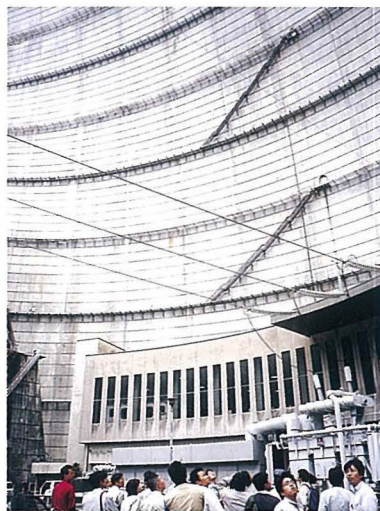


写真-3 奈川渡ダム（アーチダム）堤体を広場より見上げる



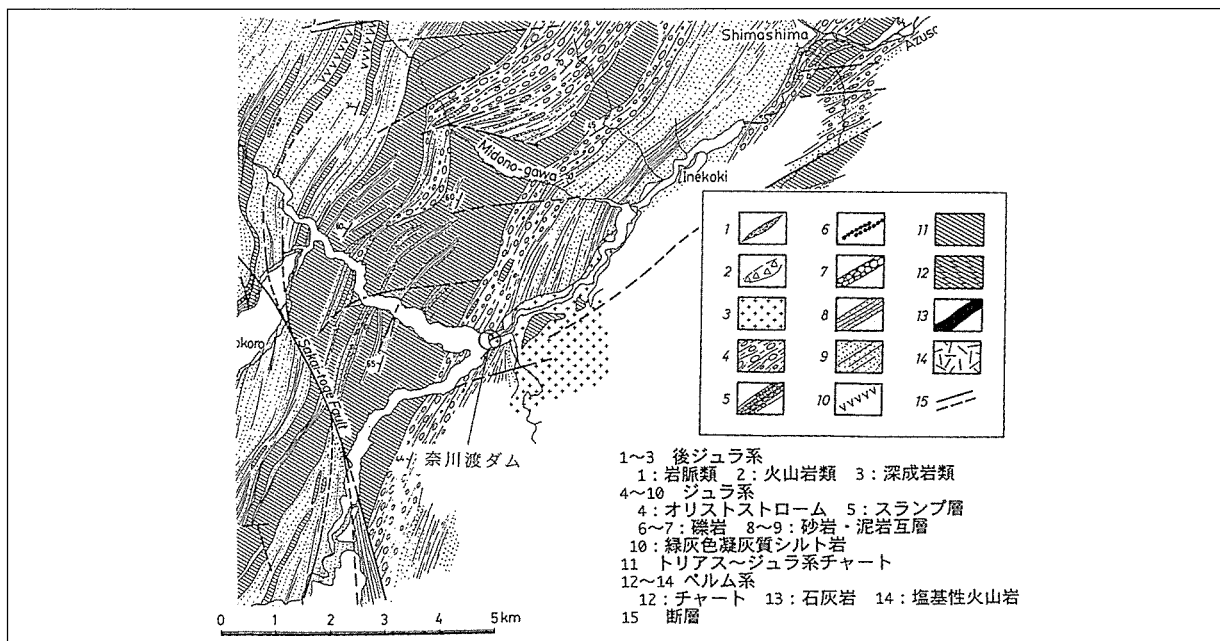
写真-2 御母衣ダム（ロックフィルダム）



写真-4 発電用ポンプの構造

表-1 ダムの諸元

ダム名	水系名	河川名	所在地	型式	目的	ダムの規模			流域面積 (km ²)	湛水面積 (ha)	総貯水量 (10 ³ m ³)	事業費 (百万円)	ダム 事業者名	着手 年度	竣工 年度
						堤高(m)	堤頂長(m)	堤体積(10 ³ m ³)							
なかわど 奈川渡	信濃川	梓川	長野県 南安曇郡安曇村	アーチダム	発電	155.0	355.5	660	380.5	274	123,000	15,059	東京電力㈱	1961	1969
みほろ 御母衣	庄川	庄川	岐阜県 大野郡白川村	ロックフィルダム	発電	131.0	405.0	7,950	395.7	880	370,000	41,526	電源開発㈱	1957	1961
はとがや 鳩谷	庄川	庄川	岐阜県 大野郡白川村	重力式コンクリートダム	発電	63.2	331.5	206	580.0	151	33,539		関西電力㈱	1954	1956



図一 奈川渡ダム周辺地質図 (大塚,1985より)

ム (186m) に次いで2番目の高さである。

○堤体のコンクリートの厚みは、上部の薄い部分は10mで下部の厚い部分は35mである。

○奈川渡ダムは、完成してから約30年経過しており、総工費は当時で540億円である。現在の貨幣価値では1,500億円くらいに相当するものと見積もられる。

○ダムが使用できる期間は、堆砂のため設計上は100年程度と見込んでいるが、浚渫作業を実施することにより200年程度はもつものと推定される。なお、現在の堆砂量は30%程度である。

○湛水池の水深140mのうち、実際に使用しているのは水深55m付近までである。

○安曇揚水発電所では、発電用のポンプは10万kwのものが6台あり、計60万kwの電力を約20万世帯に供給している。

○揚水にはポンプを逆回転して送水しており、このため揚水時には電力が3割程度多く必要となる。

○奈川渡ダムと下流の水殿ダムとは2段式の揚水ダムとなっている。

○梓川沿いには13箇所の発電用ダムがあり、合計100万kwを発電している。

奈川渡ダムの基礎岩盤は、図一1の周辺地質図に示すように美濃帯の堆積岩類中に貫入する白亜紀〜古第三紀の花崗岩であり、岩盤の状態は非常に良好な硬質岩で、谷幅の狭い急峻なV字谷 (写真一・P.85) を形成しています。活断層である御母衣断層が分布し、全体に岩盤が破碎している御母衣ダム付近の景観 (写真二・P.85) とは対照的な印象を持ちました。

上記のように、奈川渡ダムは、日本屈指のアーチダムであるだけに、堤体は下から見上げると奥行き18mでオーバーハング状に頭上高くそびえており (写真三・P.85)、とても印象的でした。また、安曇発電所内には巨大な円筒形の発電用ポンプが並んでおり、これと同タイプのもの (写真四・P.85) を実際に手で触ることができ、その大きさが実感できました。

今回の研修会では、中部管内のダム・トンネル・火山地質に関して多くのサイトを見学しましたが、トンネルや火山地質についても非常に興味深い知見を得ることができました。

この場をお借りしまして、ご指導・ご案内頂きました関係者の方々に深くお礼申し上げたいと思います。

技術研修会に参加して (第四紀火山の地質)

玉野総合コンサルタント株式会社 応用地質部
舟橋 嘉浩

1. はじめに

平成11年5月20日から21日にかけての2日間、中部地質調査業協会主催の技術研修会が開催され、玉野からは私と長谷川謙二の両名が参加した。

今回の研修会では、奈川渡ダム、飛騨トンネルをはじめ、奥飛騨から奥美濃地域にかけて多くの内容の見学をさせていただいた。ここでは、この中から安房峠周辺の火山地質を中心に、研修の内容の紹介と感想を述べたい。

2. 研 修 会

研修会1日目の5月20日、名古屋から松本を経て奈川渡ダムを見学した後、安房峠周辺の火山地域を見学した。

2-1 北アルプスの第四紀火山

今回訪れた北アルプス(飛騨山脈)では、新第三紀鮮新世～第四紀においていくつかの火山が形成されている。これらの火山活動は、鮮新世～更新世前期にかけてと更新世中期～完新世にかけての2つのステージに区分され、両者では火山の配列や活動様式、岩質等が異なっている。

北アルプスの北部地域では、鮮新世～更新世前期の火山活動としては大規模な流紋岩やデイサイト質の火砕流堆積物が特徴的であり、丹生川火砕流堆積物(約2.5Ma)や上宝火砕流堆積物(約1.0Ma)が乗鞍岳や福地南方を噴出地点として、高山市周辺の広い範囲に分布している。

一方、中期更新世から完新世に活動した火山は、主に飛騨山脈の南北方向に延びる隆起軸に沿って分布し、標高2,000～2,500mに達する基盤上に複合成層火山や熔岩円頂丘群を形成しているものが多い。

2-2 焼岳火山群

北アルプスの稜線沿いに延びる乗鞍火山帯は、北から立山、雲ノ平、鷲羽岳、焼岳、乗鞍岳、御嶽の各火山から成っている。焼岳、御嶽の両火山は噴出活動の記録があり、乗鞍岳、立山火山も噴気活動が見られるなど、乗鞍火山帯には活動的な火山が多く分布している。

焼岳火山は、上高地から望む熔岩円頂丘の景観で良く知られている狭義の焼岳(硫黄岳)と、その北側の割谷山、岩坪山、そして南側の白谷山、アカンダナ山の5火山体に区分されている。

焼岳火山は乗鞍火山帯中でも最も活動的な火山であり、この周辺では火山ガスや高熱帯など現在も多くの火山活動が認められる。

2-3 アカンダナ火山

アカンダナ山は1万数千年～4千年前頃に活動した火山で、美濃帯の中生層を基盤とし、噴出物は主に黒雲母を含む角閃石安山岩～デイサイト質の熔岩、火山碎屑岩類から成っている。

今回は残雪で安房峠越えの旧道を通ることができなかったため、アカンダナ火山山頂付近の地形を間近に見ることはできなかったが、宿泊地の平湯温泉や翌朝通った平湯峠付近からは、火山特有の地形が遠望できた。アカンダナ火山の山頂部には中性～酸性熔岩でしばしば見られる熔岩円頂丘が形成され、南西面には山体崩壊による馬蹄型の滑落崖が認められる。山体はかなり急な傾斜の円錐形で、熔岩円頂丘の周囲に外輪山を伴うコニーデ火山の山容を呈している。

平湯温泉北方の白谷付近では、アカンダナ火山の噴出物に由来する火砕岩や湧水を見学した。火砕岩はデイサイト質の本源物質を含む凝灰角礫岩から成り、湧水はこの間に挟在する泥

質層付近から湧出していた。この付近に見られる湧水はアカンダナ山南方の安房平に形成された扇状地の伏流水が主要な水源ということで、これはトレーサーを使って確認されている。調査結果ではアカンダナ山の地下水は、浸透後およそ1ヶ月で白谷付近に湧出し、本火山の構成層は透水係数 10^{-1} オーダーの非常に高い透水性をもっている。

2-4 安房トンネル

安房峠を貫く安房トンネル(延長4,370m)については、バス内でテキストを基に説明を受けた。

本トンネルは中部縦貫道(福井市～松本市160km)の一部として位置付けられ、昭和39年から調査が始められ、昭和53年から事業化されている。しかし、本トンネルを含む施工区間は中部縦貫道の中でも最大の難所であり、安房峠道



写真-1 平湯峠付近から見るアカンダナ山(2,109m)
山麓の町は平湯温泉、右下には湯の平トンネルの出口が見える。



写真-2 アカンダナ山基底部の地下水湧出箇所

路(延長6.3km)は、調査開始から33年、調査坑着工からは18年という長い歳月を費やして平成9年12月6日に完成している。

安房トンネル沿いの地質は大部分は美濃帯構成層であるが、平湯側では一部アカンダナ火山の噴出物が埋積谷沿いに深部まで分布し(平湯低速度帯と呼ばれていた)、ここでは調査時から多量の湧水が予想されていた。実際、施工時には180t/分という凄まじい突発湧水が発生しており、アカンダナ山内の地下水位は、水抜工によって工事再開までに100m以上、最終的には200m近くも引き下げられたのが確認されている。

安房トンネルのもう一つの問題点として、中ノ湯側の火山ガスと高熱帯が挙げられる。これについては綿密な調査によって地温分布やガス濃度が調査され、これに基づき坑口位置等が定められた。しかし、ショッキングな報道によって記憶されている方も多いと思うが、この坑口は平成7年に坑口部高架工事の際に発生した水蒸気爆発のために破棄され、現ルートは山腹を大きく迂回して付けられている。この水蒸気爆発では土砂の噴出と斜面崩壊が発生し、現在もこの範囲では爆発時の状況をうかがわせる生々しい傷跡が残されている。また噴気も活発で、

付近には黄褐色を呈しほぼ完全に粘土化した熱水変質帯も見られた。

3. 研修会を終えて

火山活動は、地殻をはじめ大気、海洋等、現在の基本的な地球の姿を形作った主因であり、生きている地球の身近な証拠でもある。また、よく言われるように、日本は世界の活火山の過半数が集中する環太平洋火山帯上に位置し、活火山は太平洋側では相対的に少ないものの日本海側には数多く分布している。私は学生時代(随分前のことであるが)には火山岩を対象にしていたことから、一般の人に比べれば火山や火成岩といったものに接することが多かった。

しかし、現在は愛知県を中心に仕事をしていることもあり、普段の業務で第四紀の火山が対象になることはそれほど多くない。今回の研修会では、第四紀火山の調査結果を実際に担当された講師の方からの講義をお聞きすることができ、文献等から得られる知識とは違った新鮮な経験ができたと思う。特に、第四紀火山の大深度に至る調査(ボーリング最深深度は620m)は、土木工事のための地質調査としてはおそらく稀な事例であり、現地では多くの困難があったと

推察される。改めて業界の先輩諸氏の努力に感服するとともに、自分の調査に対する姿勢を引き締めて今後の業務に取り組みたいと思う。

なお、今回の研修会ではこの他にも地質調査に携わるものとして有意義な事例や先生のご講義を多数見聞させていただいた。改めて本研修会を企画された協会の方々に感謝の意を表するとともに、今後とも素晴らしい研修会を開催して頂けることを期待致します。



写真-3 安房トンネル手前に残る水蒸気爆発の跡と放置された道路

技術研修会に参加して (飛騨トンネル)

株式会社キンキ地質センター 名古屋支店
栗本 貴生

平成11年5月20～21日、中部地質調査業協会主催の研修会が実施され、幸いにも同行する機会が得られた。ここではそのときに見学した日本道路公団発注の東海北陸自動車道「飛騨トンネル」について簡単にその概要及び工事経過を述べる。

○トンネル概要

本トンネルは東海北陸自動車道清見～白川間に位置する延長10,759mの長大トンネルである。

このトンネル区間の開通によって、近年世界文化遺産として登録され脚光を浴びている白川郷に簡単にアクセスできるようになり、同時に名古屋から岐阜を経て北陸地方へのアクセスの大幅な改善となるため、その経済効果が注目されている。また、地質的土木的には、変質が激しい飛騨変成岩や、湧水や節理亀裂に富む濃飛流紋岩類を長区間にわたって掘削し、しかも厚い土被りのためにボーリング等の事前調査が十分なされていないため、土木技術的な困難が当初から懸念されていたトンネルでもある。

○施工法における着目点

このような長大トンネルを施工する際に最近のトレンドであるNATMで施工した場合、大変な長工期となり（NATMではせいぜい6～7m/日）、工費の面でもかなりの負担となる。そこで本トンネルでは避難坑（兼先進坑）・本坑共に、TBM工法が採用されることになり、見学時現在、避難坑には直径4.5mのTBMが白川坑口より搬入され掘削を続けていた。また本坑には直径12.5mの世界最大級のTBMが搬入される直前となっており、避難坑の地質状況をにらみながらその導入タイミングをはかる事になっている（表-1）。

○白川坑口付近の地質状況

本坑口付近は白川花崗岩と濃飛流紋岩が分布している。白川花崗岩は比較的硬質な岩盤をなし $qu=700\sim1000\text{kgf/cm}^2$ 程度であるが、節理面に沿って剥離しやすい特徴を持っている。また濃飛流紋岩類は細～中粒の緻密な硬質岩であるが節理の発達が著しい岩盤となる。 $qu=1500\sim4000\text{kgf/cm}^2$ 程度と推定されている。事前の地

表-1 TBMの特徴適用条件

地山条件 Geological condition	
1) 岩種	: 花崗岩, 流紋岩, 片麻岩 Kind of the rock: Granite, rhyolite, and gneiss
2) 岩の強度	: $500\sim3,600\text{kgf/cm}^2$ Compressive strength of the rock: $50\sim360\text{N/mm}^2$
3) 最大土被り	: 1,020m Maximum overburden : 1,020m
4) 想定最大湧水量	: 30t/min.(跡津川断層) Maximum spring water(Assumption): 30t/min.(Atotsugawa fault)
TBMの特徴 Features of the TBM	
1. 作業の安全性を考慮してフルシールド型TBMを採用 (Double-shielded TBM was selected from the viewpoint of working safety in the tunnel and rear shield area)	
2. 大容量でコンパクトな水冷式カッタヘッド旋回モータの採用 (Compact, but big capacity cutter drive motor of water-cooled installed.)	
3. 硬岩地山から脆弱地山までの対応するために、無段変速の回転数制御と強力なトルクとスラスト力の装備 (Driving system that formed inverter-controlled variable Torque & cutter head speed and powerfull thrust jack force, make a good excavation for the variable ground condition)	

TBM仕様 Specification of the TBM	
1. 本体長 (Length of TBM body)	: 8.85m
2. 全長 (Overall length)	: 約 (About) 130m
3. 重量 (Total weight)	: 310t (本体; Main body) 147t (後続台車; Back up)
4. 総出力 (Total power)	: 1,618kw
5. ディスクカッタ (Disk cutter):	
1) サイズ (Size)	: $\phi 432\text{mm}$
2) 装備数 (No. of cutter)	: 32
6. カッタヘッド装置 (Cutter head)	
1) 旋回動力 (Output)	: 1,250kw
2) 回転数 (Revolution)	: $0.5\sim10\text{rpm}$
3) トルク (Torque)	: $200\sim100\text{tf}\cdot\text{m}$ (Breaking torque 300tf·m)
7. スラストジャッキ (Thrust jack):	
1) 能力 (Jack force)	: $150\text{tf}\times 12\text{No}$
2) ストローク (Stroke)	: 1,800mm
8. シールドジャッキ (Auxiliary thrust jack force)	: $2,000\text{tf}$ ($100\text{tf}\times 14\text{No} + 150\text{tf}\times 4\text{No}$)
9. メイングリッパ (Main gripper force)	: 2,200tf

表踏査より両層の境界部付近では、ほぼ南北～北北東－南南西方向に延びる幅数10m～150mの範囲内において変質帯が数条認められている(図-1・P.92)。

TBMを使用するにあたり、本域岩盤を表-1の地山条件と照らし合わせると、quでは概ね適用範囲内(若干堅め)となっている。またその他湧水等諸条件についても、フルシールド型TBMを適用させるなどして、適用条件をクリアさせている。

○TBMの立往生と後退

98年5月1日から避難坑のTBM本掘進が始まったが、2ヶ月後の7月31日、発進位置より600m位置で掘進を阻まれた(それまでは350m/月の速度で掘進していたという)。地質は丁度、前述した白川花崗岩内の変質帯にあたったところであり、事前の電気探査では局所的に弱部があるものの地山区分としては概ねDⅡクラスと判断されていた箇所である。しかしながら実際の掘削状況は切羽の自立しない悪い地山(Eクラスと判定)となっており、さらに軟弱な地山の中に残る硬質な礫がTBM前面に突き刺さった状態でカッターと共に回って地山を乱してしまい、またその土砂がカッターヘッドから流入(同時にカッタートルクが上昇する)したので、TBMを止めざるを得ない状況になったらしい(そのときの最大湧水量は1.8t/分)。実際その区間を見学させてもらったが、坑壁側面の肌落ちが異常に大きく、トンネル径がかなり変化していた。

○対策

その後、TBMの機械損傷も発見されたこともあり、TBMは一時解体・後退させ補修することになり、また側面より迂回坑を掘削し、TBMの切羽前方より75m先までを悪性地山に対する補助工法の適用が簡便なNATM工法にて先行掘削をすることになった(図-2・P.92)。また同時に迂回坑より水抜きを兼ねた水平調査ボーリングを実施し(L=約350m)、白川花崗岩と流紋岩のコンタクト部やその周辺の変質帯を確認している。

○現在

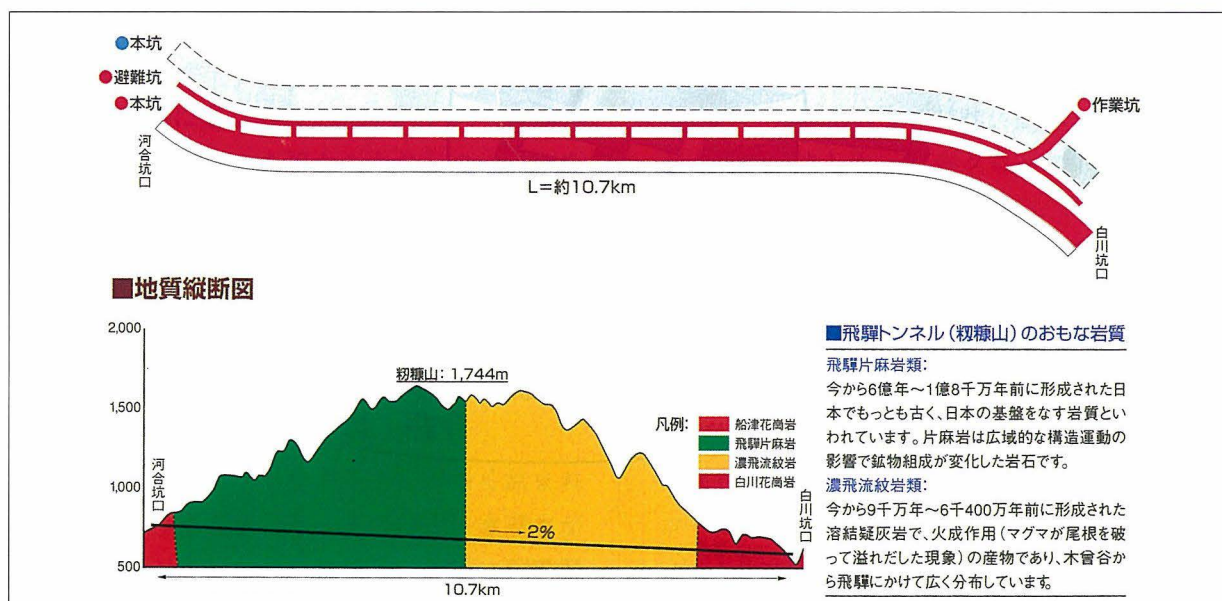
99年4月21日より修理・改良を終えたTBMで再び掘進を始めている。TBM再発進は白川花崗岩の変質部を抜けた所より始められており、水平ボーリングによれば、濃飛流紋岩のコンタクト部まであと300m程度の所まで進んでいる(5月現在1100m掘削完了)。見学当時、TBMは一時停止しており、内部より「探り」ボーリングを実施していた。これにより、コンタクト部付近に存在する熱水変質帯の地質状況や湧水量、湧水圧の検討を行うことになっている。

○これから

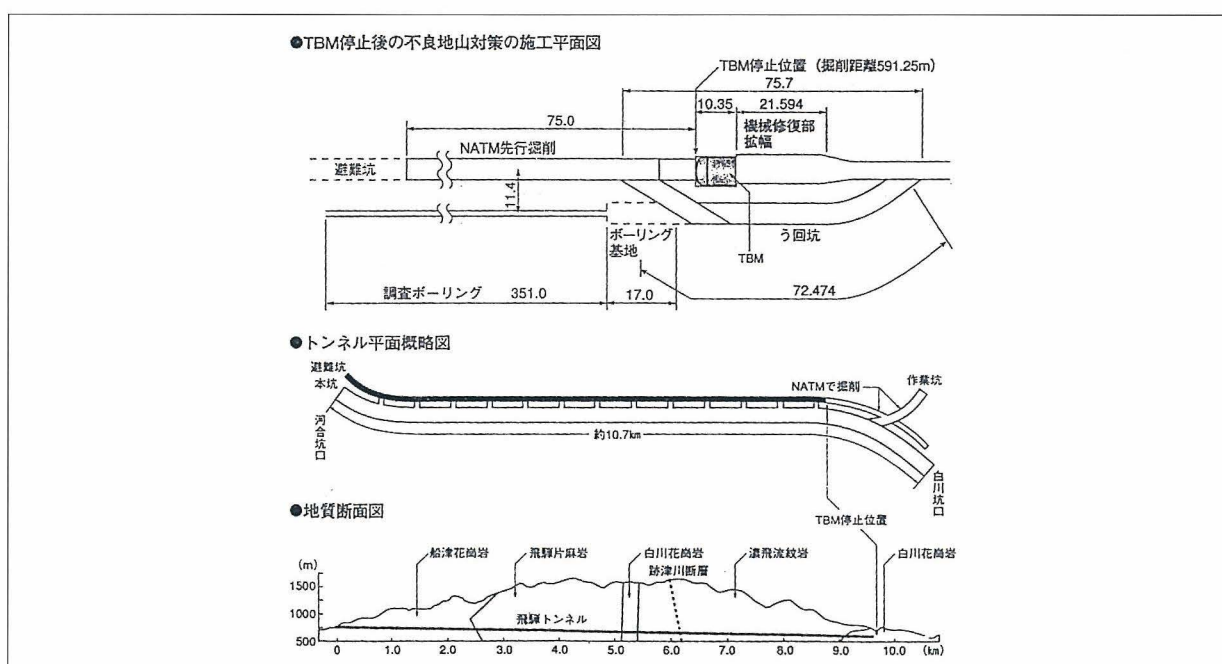
現在は徹底した水抜きにより、徐々に避難坑の地山状況は改善されているのではないかと考えられる。並行して進められている本坑工事においても避難坑の地質状況改善部付近まではNATM工法にて掘削を続け、その後世界最大のφ12.5mTBMを発進させることとなっており、見学時にはTBM発進基地のためのトンネル拡幅もほぼ完了しているとのことであった。

現在、難所となっている貫入岩境界付近の変質帯であるが、地質想定断面図では少なくともあと2ヶ所で花崗岩質岩の貫入帯が記されている。これらの境界部も多かれ少なかれ変質帯が存在していると考えられ、さらには日本最古の地質帯といわれる飛騨変成帯がトンネル後半部を占めている。これらの地質構造は土木施工上これからの「難所」となりうる可能性を十分に秘めていると私は思う。(避難坑TBMの掘削停止要因を日本道路公団側では「機械損耗によるもの」と発表しているが、その損耗の背景には少なからず悪性地質条件が絡んでいるのは間違いない。)

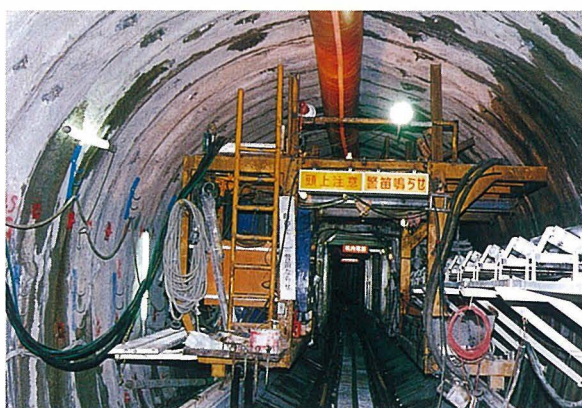
最新土木技術が勝つか、46億年の歴史を持つ地球が勝つか、いや、勝ち負けではなく、TBMマシンの名前の如くいかに地球と土木技術が融合・調和できるか。今後の掘削状況に多大なる期待と一抹の不安を覚えつつ、今回のトンネル見学は終了した。



図一1 トンネル平面図と地質概況



図二2 TBM停止後の不良地山対策：停止位置を迂回するトンネルを掘り、NATMで75m先行掘削の後



写真一1 TBM隊列の最後尾
掘削された土砂は下のベルトコンベヤーによって運び出される。



写真二2 飛騨トンネル本坑白川口



水には飲んでおいしい水と、健康によい水。更にはコーヒーに合う水。お茶には、料理にはと、それぞれの使用目的に適した水の使い分けと、飲み分けが大切です。

おいしく感じる水はミネラルの含みが適量であり、健康によい水は反対にミネラルを多く含みけっしておいしい水ではありません。

したがっておいしくて健康によい水とされた商品はいずれかが嘘ということになります。

さて、「おいしい水」とは、厚生省水道部が1984年から85年にかけて、「おいしい水研究会」の名称で委員会を開き全国の水道水を集めテストして選ばれた水を、分析などしてデータをとった結果、次のような水がおいしいと感じることが分かり一応の目安として定められました。

① ミネラル

カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、カリウム、鉄、マンガンなど水中に溶けている鉱物質の総量。

1ℓ中に30～200mgを含んでいる水、中でも100mgくらいがまろやかな水です。

② 硬 度

硬度とはカルシウム及びマグネシウムの合計量をいいます。

1ℓ中に10～100mgくらいが適当で、中でも50mg前後が多くの人に好まれます。

③ 炭酸ガス〔遊離炭酸〕

1ℓ中に3～30mgの範囲が適当量です。

あまり多いとソーダ水のように舌を刺激します。

④ 酸 素

1ℓ中に5mg以上が望ましい量です。

清涼感と新鮮さを感じさせます。

⑤ 過マンガン酸カリウム消費量

1ℓ中に3mg以下。

水中の有機物量を示す値で有機物が多い水は渋味がありますが3mg以下なら感じません。

⑥ 臭 気 度

3以下。通常の人が異臭味を感じない水準です。

⑦ 残留塩素

1ℓ中0.4mg以下。通常の人がほとんど臭気を感じない水準です。水道法では家庭の蛇口に塩素が0.1mg以上残っていなければいけないことになっています。

一方、健康によい水はミネラルの含みが多くなければ効果ありません。

たとえば、カルシウムには骨を強くして、気持ちいを落ち着かせ、不眠症を解消したり体内で鉄分の代謝を助けたりします。

マグネシウムは神経を静めて、新陳代謝を助けたり、心臓・血管を健康にして心臓発作を予防します。

ナトリウムの取り過ぎは、高血圧や心臓病には要注意ですが、適量ですとカリウムと混ざり筋肉と神経の働きを正常に作用させる効果もあります。

カリウムはカルシウムと一体になりますと、体内の老廃物を排出させる働きをいたします。

このようにミネラルの主要成分は私どもの健

康に役立っています。

ミネラルウォーターに百年の歴史をもつフランスでは必要に応じて水を飲み分けています。

赤ちゃんのミルクを溶かしたり、コーヒーを入れる時にはボルビック〔硬度50〕を使い、レストランで食事中にはエビアン〔硬度297.5〕を飲みます。運動で汗を流した後にはカルシウムの補給をかねてヴィittel〔硬度649〕を飲みます。薬感覚でコントレックス〔硬度1503.5〕という具合に飲み分けているのです。

日本でも、ミネラルウォーターが多く飲まれるようになってきました。その理由に水道水がまずいからが一番多く、最近では健康に美容といった飲み方も増えてきております。

年間一人当たりの消費量も7リットル近く飲まれてきました。地域別では全体の半分が東京で大阪地区が4分の1、あとの4分の1を名古屋とかその他の地方で占めていると、言われています。

日本の水は軟水で硬度は20～80mg/ℓですが、ヨーロッパの水は通常200～400mg/ℓと硬度の高い水です。

さて、コーヒーにはどれぐらいの硬度の水が合うのか、硬度の違いによってコーヒーの味がどのように変わるのか、色々と水をかえて試してみました。使ったコーヒー豆は、コロンビア40%、ブラジル30%、モカハラリ20%、グアテマラ10%のブレンド。ロースト〔焙煎〕は浅煎り、酸味とコクのあるコーヒーと、同じブレンドでコーヒー豆を、ダークロースト〔深煎り〕にした苦味と刺激的な味わいのコーヒーの二種にてテストいたしました。

〔硬度23〕の水で入れますと、浅煎りのブレンドは持ち味の酸味がより強くコクも濃度が有りすぎるぐらいの味になります。

深煎りのブレンドは苦味を強く感じ、刺激的な味香りが口に鋭く残ります。

それぞれの持ち味が充分に抽出されました。

〔硬度50〕の水は、酸味の強さが僅かですがやわらかくなりました。

ダークローストのコーヒーは、ほとんど変わりません。

〔硬度80〕の水で入れますと、浅煎りの酸とコクが特長であったコーヒーが、酸味はまろやかになり、コクも適度で甘味、酸味、苦味の調和がよくできました。ダークローストのコーヒーは、それほど変わりません。

〔硬度150〕の水でテストしますと酸味は一段とまろやかになり飲みやすくなりました。

苦味の強かったコーヒーは刺激的な苦味が幾分少なく感じます。

〔硬度307〕の水で入れますと酸味、コクとも軽くなります。特長にややかけるが気楽に飲めるコーヒーでもあります。

ダークローストのコーヒーは刺激的な苦みは少なく、ほのかな苦味は口当たりがよく飲めます。

硬度400以上の水はコーヒーの持ち味を半減します。

このように硬度の違いでコーヒーの味は大きく変わります。これはコーヒーの成分の一つでありますタンニン系物質のクロロゲン酸が水に含まれているカルシウムの量によって分解がしにくくなります。このためコーヒーの味が軽くなったりします。

また、水に含まれているミネラルのそれぞれの量によっても味は微妙に変化します。

コーヒーの風味にとってはカルシウムが多くマグネシウムが少なくナトリウム、カリウムなどがバランスよく含まれた水はコーヒーにとって最適です。

コーヒーの好みは実にさまざまです。濃厚な味が好きな人、軽く爽やかに飲めるコーヒーが口に合う人。こんな好みにもコーヒーのブレンドを変えなくても、水によって思わぬおいしいコーヒーに出会えるかもしれません。

最近、東京を中心にエスプレッソ・コーヒーが人気です。カフェ・ラッテ、カフェ・カプチーノが驚くほど飲まれています。

東京から全国に広まろうとしています、果たして日本に定着するのでしょうか、ここでも水が問題になります。

ヨーロッパで飲むエスプレッソ・コーヒーは苦味もほどよく後味もさっぱりしておいしいけ

れど、日本のエスプレッソ・コーヒーは苦味が強く口に残るなどと、評判はいまひとつです。

これもヨーロッパでは硬度の高い水が普通です。ので苦味やローストの強さがでにくく、それが、おいしいと評価されるのです。

日本のエスプレッソ・コーヒーがおいしいと言われるには、日本の水に合ったローストやブレンドを研究しなければなりません。

コーヒーより繊細な風味を楽しむ、お茶はどんな水が適しているか、これもコーヒー同様にそれぞれの好みも有り、お茶にはこの水と言い切ることはできないようです。

しかし、カルシウムやマグネシウムなどのミネラルの含みの少ない水でお茶を入れますと、お茶のうま味成分でありますアミノ酸の一種テアニンやグルタミン酸と渋味成分のタンニン、カテキンがよく抽出され、甘味が強く渋味、苦味も適度にある、おいしいお茶が飲めます。

お茶の好きな人には、高い評価がいただけます。

ところが、お茶をあまり好まれない人には、お茶の味が口に残り、とくに渋味がいやだといった批評も一方ではあります。

以前、静岡の茶業の皆さんが静岡の水から、色々なミネラルウォーターを一同に集め、それらの水でお茶を入れて、一般の人に試飲して頂き、おいしいと感じたお茶を選んでいただきましたところ、意外にもエビアン〔硬度297.5〕で入れたお茶にかなりの票が入りました。

これは、コーヒーと同じように硬度の高い水は、お茶の成分のうち渋味のもとになります。タンニン、カテキンが分解しにくいいため軽い味のお茶になります。お茶通の人は別として普通にお茶を楽しめる人には軟水より硬水のほうが良い場合もありますから一概に言えません。

因みに名古屋の水道水は〔ミネラル55、硬度21〕で、静岡の水道水は〔ミネラル120、硬度77〕です。

機会がありましたら、二つの水でお茶の味をお試ください。

水研究の第一人者であります小島貞男さんに懐石料理の老舗で有名な「辻留」のご主人が

「私のところでは銀座と青山に店をもっているが銀座の味と青山の味が違う。両方の水道水に違いはありませんか。懐石料理は水が生命なんです」と聞かれた。確かに青山の店は多摩川系銀座の店は江戸川系と違っていました。専門家になると水の味までちゃんと識別できるのだと知って敬服したと、語ってみえます。

因みに、辻留の青山店は多摩川系〔硬度56.2〕銀座店は江戸川系〔硬度70.6〕と違います。

日本の料理には、水をじゅうぶんに使っただしをとります。だしのよしあしはその店の吸い物を味わえば分かります。だしを作るにはだしの材料のよいことが必要です。しかし、材料がよくてもだしをとる水が悪くては、よい味のだしをとることはできません。

最もよくないのは硬水を使った場合です。それは、硬水に含まれているカルシウムやマグネシウムの作用でタンパク質が固まり、だしの旨味成分が溶け出てこないからです。

日本には軟水のよい水がたくさんあったからだしをとる調理方法が成立したといえます。

そのだしを使った料理が煮物であり、汁物であります。それに対して、水の悪いヨーロッパや中国では、日本のような水を使った料理は育たず、蒸したり、煮込んで野菜から出る水分を利用したり、牛乳やワインを加えたり、スープストックを使った調理方法がとられたのです。

ご飯も、日本のように水を加え炊く方法でなく、蒸すとか、油でいためたりして水を直接使わないようにしています。

近年、日本の水も大都市、特に東京、京阪神九州といったところの水源の汚染により水質の低下がみられ、いやな臭いや味が問題になっております。これが日本料理独特のだしの味にも影響が出始めています。それは大阪のうどんでは以前は薄味のだし汁を使った、きつねうどんなどが主流でしたが、最近では油味の多い天ぷらうどんや濃い味つけのものが増えてきました。

料理もバターやクリーム、オリーブ油が多く使われ、スパイスをふんだんに加えた、調理の洋風化は水質の低下が原因ではないかと、みる

人もいます。

しかし、日本の水がすべてまづくなったわけではなく、まづい地域が増えたということです。

都市の多くが集中している東海道から瀬戸内海沿いに多くみられますが、これも全国の面積からみれば30%弱であり、少し郊外や地方へであれば、おいしい水が飲める地域が70%もありますから日本の水は心配ありません。

名酒あるところに名水ありの、例えがありましよう、うまい酒は仕込みに使う水によって決まります。全国の各地に名酒が誕生するよい水がまだ多くあります。

名酒は硬水でも軟水からでもできます。硬水の代表は六甲山系の花崗岩層を流れてきた水が海岸の貝殻層を通して湧き出た「宮水」はあまりにも有名です。辛口の灘の銘酒には多くの灘酒ファンを楽しませています。

軟水では、「伏見の御香水」が代表です。きめの細かいやわらかな風味の酒を作りだす良質の水です。伏見の蔵元は大手酒造メーカーから中小の蔵本が独自の銘酒を造りだしています。

雪国では雪どけ水を集めた清流があり、山国にはミネラル分を適度に含んだ湧水が、これらの水が仕込み水ですから、うまい地酒ができて当然だと思います。

いつまでもこの恵まれた環境が守られ水の文化が絶えることの、ないようにしたいものです。

こんなにうまい水があふれてゐる 山頭火

付記 浄水器と水について

最近また浄水器がよく売られています。これには水道水がまづいから、においがするから、色や濁りがあるからなどが、浄水器を取り付けた理由だと聞きます。現在では、日本全国の約4分の1の家庭で浄水器を使っているようです。

浄水器は各メーカーが研究開発して多種多様ですが、使われるろ過材は、活性炭だけのもの、活性炭と中空糸膜を組み合わせたもの、活性炭とセラミック、活性炭と電子装置を組み合わせたものなどが有ります。現在の主流は活性炭と中空糸膜を組み合わせたものです。タイプは蛇

口直結型、据え置き型、アンダーシンク型、ポット型の4種類で、中でも蛇口直結型が全体の約8割と多く使われております。

浄水器に使われている中空糸膜は、人工透析などに使う中空糸を利用しています。中空糸の壁面にはマイクロポアという非常に小さい穴が、浄水器のカートリッジ1個当たり約4千億個もあいていて、フィルターの役目をしています。いちばん小さな穴は直径が1万分の1ミリで多重構造になっていますので、水に混ざっているものは、どんな小さな物でも取り除くことができます。

したがって、濁りや赤サビ、雑菌は中空糸膜で除去し、発ガン性物質だと話題になったトリハロメタンやカルキ臭は活性炭でとりますので、この二つの組み合わせの浄水器に人気があります。

上手な浄水器の使い方は、朝一番の水は、バケツ1~2杯は流し水に使って、そのあとの水を飲料にします。これは夜間パイプの中にたまった水には、鉛が溶けだしていたり雑菌が繁殖しているかもしれません。浄水器の中にも水は溜まっていますのでそれを流す必要があります。いま一つ注意しなければならないことは浄水器からでた水はすぐに使ってください。浄水器が塩素を取り除いていますので、雑菌が繁殖しやすい状態になっているからです。また二週間以上も留守にするときは、カートリッジを外して冷蔵庫に密封して保管されるとよいでしょう。

このカートリッジの交換時期はメーカーによって異なりますが6~8カ月が交換の目安になります。しかし一日の水道の使用量や水質によって早まることがあります。水の出が悪くなったら交換します。この程度の家庭用浄水器は6~7千円で作れます。

浄水器はこのほか、水に含まれているものをすべて取り除いてしまう逆浸透膜タイプのものや、水を電気分解することで、アルカリイオン水と酸性水をつくるアルカリイオン浄水器などがありますが一般的ではないようです。浄水器は信頼できる大手メーカーの商品をお選び下さい。呉々も浄水器の悪徳商法にはご用心。

「土と岩」47号

読者アンケート結果

広報宣伝委員会

1. はじめに

アンケート調査は、「土と岩」の掲載内容や編集方針について、読者各位の御意見や御希望をお聞きし、本誌をより充実した「会報」にする事を目的として、No.45より開始され、今回で3回目となります。

アンケートの回答数も表-1経年アンケート回答数に示すように年々増加の傾向がみられます。

これもひとえに読者の方々が、「土と岩」に興味を持って御購読いただいている結果だと考えられます。

表-1 経年アンケート回答数

	発送数	回答数	回答率
N O 4 5	754	50	6.6 %
N O 4 6	651	73	11.2 %
N O 4 7	635	77	12.1 %

2. アンケート発送数および回答数について

機関別アンケート発送数および回答数は次のようになります。

官公庁が10%程度に対し、中部地質業協会員が30%と3倍の回答率得ています。

全体的に回答率が低く、本会誌の質の向上を図るためにも、アンケート調査回答により一層の御協力をお願いします。

3. アンケート調査結果について

アンケート調査は、No.47「土と岩」の読者アンケートとして、葉書にて回答を求めたもの

表-2 機関別アンケート発送数および回答数

	発送数	回答数	回答率(%)
国官公署・公団関係	145	14	9.7
愛知県・同県市町村等	161	14	8.7
岐阜県・同県市町村等	103	12	11.7
三重県・同県市町村等	130	11	8.5
地区協会・試験組合等	24	5	20.8
中部地質調査業協会員	72	21	29.2
合 計	635	77	12.1

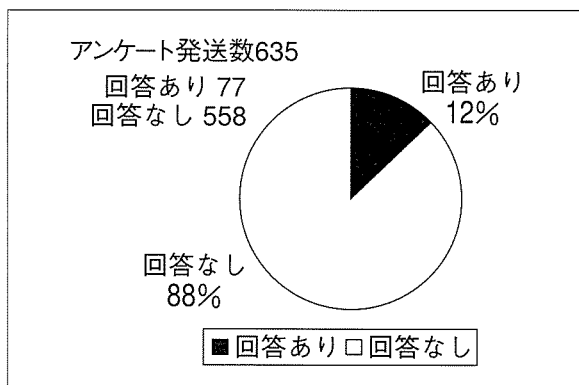


図-1 アンケート回答率

で、その内容は下記の4点についての内容です。

- ① 「土と岩」No.47号について、特に印象に残った記事・論文
- ② 「土と岩」No.47号について、技術的に参考となった記事・論文
- ③ 今後の発刊に対する御意見
- ④ そ の 他

回答が得られた中で、機関別にアンケート設問別の回答率を次頁に示す。

設問毎のアンケート調査結果は、次のようになります。

- ① No.47「土と岩」について特に印象に残った記事・論文

表-3 機関別のアンケート設問別回答数

	回答数	設問 1	設問 2	設問 3	設問 4
官公庁・公団等	51	29 (56.9%)	26 (51.0%)	11 (21.6%)	12 (23.5%)
地区協会試験組合等	5	5 (100%)	5 (100%)	3 (60%)	1 (20%)
中部地質調査業会員	21	18 (85.7%)	15 (71.4%)	8 (38.1%)	8 (38.1%)
合 計	77	52 (67.5%)	46 (59.7%)	22 (28.6%)	21 (27.3%)

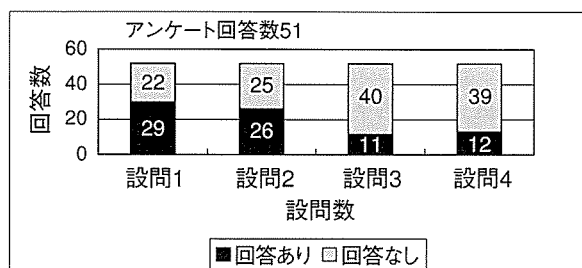


図-2 設問毎の回答数（官公庁・公団）

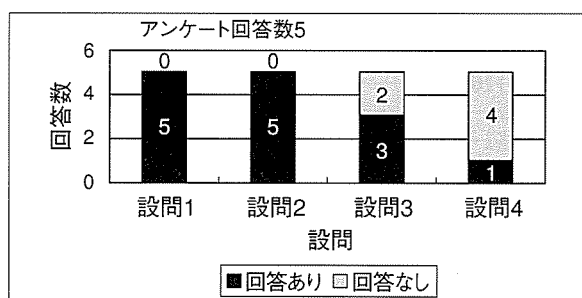


図-3 設問毎の回答数（地区協会・試験組合等）

- ・ No.47号「土と岩」の特集が「名港トリトン」であったためか、「名港トリトンの建設」「名港トリトンの地盤特性と基礎工」について回答数52中32（61.5%）もあった。
- ・ 地域特性がみられ、三重県の回答に「三重県中南部における中央構造線付近の岩石・岩盤の性状と開削上の地質学的諸問題」が3件みられた。

② No.47号「土と岩」について技術的に参考となった記事・論文

- ・ 技術論文が7編掲載されており、平均的に興味を持って読まれているが、その中で「杭の水平抵抗力について」および「断層の密度と地震」が比較的多かった。

③ 今後の発刊に対する意見

- ・ No.47「土と岩」は、カラー写真が多く使用され字も鮮明で読みやすかった。
- ・ 今後写真図表を多く用いて、実務に参考になる記事に重点を置いてほしい。

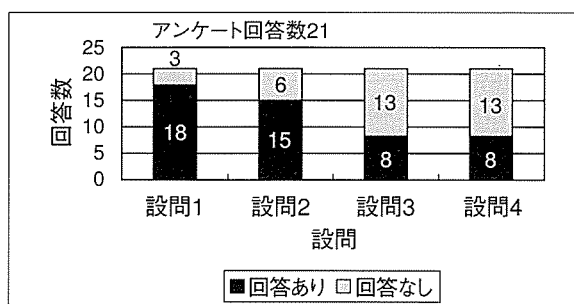


図-4 設問毎の回答（中部地質協会）

- ・ 各掲載論文において、関連する過去の論文があれば、論文最後に掲載してほしい。
- ・ 地域に密着した地盤工学・地質研究の発表も今後続けてほしい。

④ その他

- ・ 「地質とワイン」が大変おもしろかった。今後もこの様なやわらかい記事を掲載してほしい。
- ・ 技術研究会は有意義であり、今後も続けてほしい。
- ・ 具体的な調査事例の発表論文は、情報収集に当たって多いに参考になる。

4. あとがき

今回のアンケート調査結果から、特集論文および技術論文は全体的に購読されている中で、地域特性が窺え特定の地域の論文だけでなく、多くの方に愛読してもらうためにも、東海3県全体を網羅した記事論文の掲載が必要と考えられます。

今後今回のアンケート調査結果を参考に「土と岩」がより充実した内容の会誌になるよう努力していききたいと思います。

最後に、本アンケート調査に御協力いただいた各位にたいし、深く感謝の意を表す次第であります。

中部地質調査業協会会員名簿

会 社 名	代 表 者	住 所	電話番号
(株) ア オ イ テ ッ ク	鈴木 孝治	名古屋市北区上飯田南町2-45-1	052-917-1821
青 葉 工 業 (株) 名 古 屋 支 店	井戸 忍	名古屋市北区黒川本通4-32-1	052-915-5331
朝 日 土 質 (株)	大橋 英二	岐阜市須賀4-17-16	058-275-1061
(株) 飯 沼 コ ン サ ル タ ン ト	飯沼 忠道	名古屋市中村区長戸井町4-38	052-451-3371
(株)応用地学研究所名古屋支店	松島 光三	名古屋市東区相生町30	052-934-2321
応 用 地 質 (株) 中 部 支 社	馬場 干兄	名古屋市守山区大字瀬古字中島102	052-793-8321
梶谷エンジニア(株)中部支店	山本 篤	名古屋市東区樟木町1-2 山吹ビル	052-962-6678
川 崎 地 質 (株) 中 部 支 店	武田 博司	名古屋市名東区高社1-266 ラウンドスポット一社	052-775-6411
(株)キンキ地質センター名古屋支店	崎川 隆	名古屋市昭和区雪見町1-14	052-741-3393
基礎地盤コンサルタンツ(株)中部支社	坪田 邦治	名古屋市西区菊井2-14-24	052-589-1051
協 和 地 研 (株)	駒田 貞夫	松阪市郷津町166-8	0598-51-5061
熊 金 ボ ー リ ン グ (株)	小林 雅夫	飯田市大王路1-5	0265-24-3194
計 測 地 質 (株)	北川 満	津市美川町3-6	059-227-9005
京浜調査工事(株)名古屋営業所	重松 正勝	名古屋市中区正木2-8-4	052-321-5139
興 亜 開 発 (株) 中 部 支 店	石川 彰	名古屋市天白区原2-2010	052-802-3121
国 際 航 業 (株) 中 部 支 店	齋藤 眞一	名古屋市中区栄2-11-7 伏見大島ビル	052-201-1391
国土防災技術(株)名古屋支店	中村 俊彦	名古屋市千種区今池5-1-5 今池ビル	052-732-3375
サンコーコンサルタント(株)名古屋支店	上神 正衛	名古屋市中村区椿町21-2 第2太閤ビル	052-452-1651
(株) 栄 基 礎 調 査	鈴木 修司	名古屋市守山区本地が丘1702	052-779-0606
三 祐 (株)	石黒 亢郎	名古屋市中村区名駅南1-1-12	052-563-5541
(株)シマダ技術コンサルタント名古屋営業所	妹尾 俊美	名古屋市名東区つつじが丘609	052-773-9281
(株)ジオジャイロ名古屋支店	木下 尋靖	名古屋市天白区荒池1-201	052-807-1888
(株)新 東 海 コ ン サ ル タ ン ト	二夕月清文	津市江戸橋1-92	059-232-2503
杉 山 コ ン サ ル タ ン ツ (株)	杉山 信行	久居市新町680-4	059-255-1500
住 鉱 コ ン サ ル タ ン ト (株) 名 古 屋 支 店	北原 博道	名古屋市東区葵1-13-18 サッサセンタービル	052-933-1444
西 濃 建 設 (株) 名 古 屋 支 店	戸田 好晴	名古屋市中村区名駅南3-2-11	052-561-3541
(株) ダ イ ム 技 術 サ ー ビ ス	磯貝 洋尚	名古屋市天白区平針2-1906 KMビル	052-801-0955
(株)ダイヤコンサルタント関西・中部支社	橋井 智毅	名古屋市熱田区金山町1-6-12	052-681-6711
大成基礎設計(株)名古屋支社	立花 敏信	名古屋市中村区豊国通1-17	052-413-8711
(株) 大 星 測 量 設 計	朝倉 邦明	名古屋市緑区大高町字東正地69-1	052-623-1287
(株) 大 和 地 質	大久保 卓	名古屋市中川区八剣町4-28-1	052-354-5700

会 社 名	代 表 者	住 所	電話番号
玉野総合コンサルタント(株)	前田 晉	名古屋市中村区竹橋町4-5	052-452-1301
地質工学(株)名古屋営業所	尾尻 敏彦	名古屋市中村区御成通1-4	052-981-2131
中央開発(株)中部支店	黒田真一郎	名古屋市中村区牛田通2-16	052-481-6261
中央復建コンサルタント(株)中部支社	横山 康夫	名古屋市中区丸の内3-13-1 セプトン丸の内ビル	052-961-5954
(株)中部ウエルボーリング社	佐藤 安英	名古屋市中村区東山通5-3	052-781-4131
(株)帝国建設コンサルタント	篠田 徹	岐阜市青柳町2-10	058-251-2176
(株)トーエネット	山田 久雄	名古屋市中区栄1-20-31	052-221-1111
東海ジオテック(株)	杉浦 市男	豊橋市明海町33-9	0532-25-7766
(株)東海地質コンサルタント	鈴木 誠	名古屋市中川区尾頭橋3-3-14	052-331-8121
東海地質工学(株)名古屋支社	森下 康之	名古屋市中村区剣町243	052-413-6231
(株)東京ソイルリサーチ名古屋支店	開出 尚文	名古屋市中村区名駅3-9-13 MKビル	052-571-6431
(株)東建ジオテック名古屋支店	篠田 正雄	名古屋市中村区笠寺町字迫間9-2	052-824-1531
東 邦 地 水 (株)	伊藤 武夫	四日市市東新町2-23	0593-31-7315
南海カツマ(株)	勝眞 宏	熊野市井戸町4935	05978-9-1433
(株)日さく名古屋支店	中島 彰夫	名古屋市中川区富田町大字千音寺東尼ヶ塚117-2	052-432-0211
日特建設(株)名古屋支店	藤本 秀男	名古屋市中村区名駅3-21-4 名銀駅前ビル	052-571-2316
日本基礎技術(株)名古屋支店	大江 信夫	名古屋市中村区亀島2-14-10 フジ・オフィスビル	052-451-1680
(株)日本パブリック中部支社	澤田 啓治	名古屋市中川区高畑5-207	052-354-3271
日本物理探査(株)中部支店	下川 裕之	名古屋市中村区並木2-245	052-414-2260
富士開発(株)	加藤 辰昭	名古屋市中村区唐山町3-30	052-781-5871
復建調査設計(株)名古屋事務所	曾我 祐人	名古屋市中村区葵1-26-12 一光新栄ビル	052-931-5222
松 阪 鑿 泉 (株)	岩本 俣和	松阪市五反田町1-1221-5	0598-21-4837
(株)松原工事事務所	野口 敦庸	名古屋市天白区植田山3-1806	052-783-7201
松 村 工 業 (株)	松村多美夫	岐阜市藪田東1-6-5	058-271-3912
丸 栄 調 査 設 計 (株)	川口 勝男	松阪市船江町1528-2	0598-51-3786
村 木 鑿 泉 探 査 (株)	村木 正義	名古屋市熱田区西野町1-2	052-671-4126
明治コンサルタント(株)名古屋支店	柴田 秀道	名古屋市中村区藤森2-273	052-772-9931
名 峰 コ ン サ ル タ ン ト (株)	原 紀男	名古屋市中村区市場木町64	052-503-1538
大 和 開 発 (株)	金子 達夫	岐阜県郡上郡大和町剣971-1	057-588-2199
(株)ヨコタテック名古屋支店	川上 正昭	名古屋市中村区那古野1-15-18	052-565-9252
ライト工業(株)名古屋支店	小林 政二	名古屋市中村区畑江通4-22	052-481-6510

賛 助 会 員 名 簿

会 社 名	代 表 者	住 所	電話番号
旭ダイヤモンド工業(株)名古屋支店	富塚 俊介	名古屋市中村区烏森町4-74	052-483-5121
(株)カノボーリング名古屋支店	上形 武志	名古屋市長区大高町字丸の内73-1	052-621-7059
(株)神谷製作所	神谷 仁	埼玉県新座市馬場2-6-5	0484-81-3337
澤村地下工機(株)	澤村 忠宏	名古屋市東区新出来1-9-22	052-935-5516
田辺産業(株)	田辺 誠	名古屋市守山区小六町9-21	052-793-5161
東邦地下工機(株)名古屋営業所	住友 信二	名古屋市守山区脇田町1513	052-798-6667
名古屋ケース(株)	伊藤 正夫	名古屋市熱田区桜田町5-5	052-881-4020
(株)マスダ商店	増田 幸衛	広島市西区東観音町4-21	0822-31-4842
松下鋳産(株)	松下 通	名古屋市昭和区車田町1-38	052-741-1321
(有)ワイビーエム名古屋販売	丸山 敏夫	名古屋市天白区菅田1-1208	052-804-4841

編集後記

全国的に恒常的な景気の低迷が続く中、昨今は公共事業への風当たりが強いこともあって、私たちの業界も厳しい状況から何々抜け出せないようです。

ここ中部圏では、「中部国際空港」「2005年日本国際博覧会(愛知万博)」「第二東名・名神高速道路」「東海環状自動車道」「徳山ダム」などの建設事業がまさに活動しています。また、石原都知事の誕生により首都機能移転の議論が再燃していますが、中部圏では東海地域と三重・畿央地域という2候補地を抱えて、その趨勢が気になるところでもあります。

他方、2000年という世紀末は、身近な課題を見てもコンピュータ問題への対応や、ISOに係わる品質・環境への新たな認識とSI単位への移行、あるいは建設CALS/ECへの取り組みなど、新世紀を迎えるに当たっての転換の時でもあるように思います。

中部地質調査業協会の機関誌「土と岩」はわずか年1回の発刊ですが、官界・学会関係者のご協力を戴きながら今回で第48号を迎えました。中部のビッグプロジェクトはそれぞれの建設担当部門での多大な経費と努力により着実に前進していますし、私たちの業界も特に初期段階で些かの係わりを担っています。そこで、第48号はこれら建設工事の中間レビューということで「中部圏のビッグプロジェクト」特集号を企画し、事業者側から3編の特集論文を寄稿戴き、さらに学会には2編の技術論文の執筆をお願い致しました。

また、協会員の自由課題による技術論文・技術ノートも9編を数え、例年の技術研修会報告文と合わせて充実した構成となっています。「コーヒーと水」は前号の「ワインと地質」に続くエッセイ・シリーズで、読者への清涼剤になればと思っています。

最後に、お忙しい中ご寄稿いただいた執筆者の皆様には心より感謝致しますと共に、読者の皆様には忌憚のないご意見をアンケートにおよせ戴きたくお願い申し上げます。

広報宣伝委員会