



地盤調査の技術変遷 －主として軟弱地盤関連調査－

★本日の話題★

1. 近代的地盤調査の開始
 2. 超大橋調査－プレッシャメータ・大型三重管サンプラー－
 3. 豊岡バイパスの軟弱地盤対策工
 4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工
 5. 関西新空港建設に伴う各種計測業務
(堺CDM改良体の破壊実験 ⇒北港CDM護岸 ⇒関空へ)
 6. 新しい調査技術の紹介
- ★まとめ-これからを担う皆さまへ -八田與一さんの紹介-



中部土質試験協同組合(ジオ・ラボ中部)

専務理事 坪田 邦治

★坪田邦治の自己紹介★

実はバドミントン部卒業

1. 学歴

- ・1973年3月(昭和48年3月) 岡山大学理学部地学科(地球物理学講座)卒業
- ・2004年4月(平成16年4月) 岡山大学大学院自然科学研究科 入学(社会人入学)
- ・2007年9月(平成19年9月) " 修了

2. 職歴

- ・1973年4月(昭和48年4月) 基礎地盤コンサルタンツ(株)入社(関西、中部、本社、北海道)
- ・2005年5月(平成17年5月) 中部土質試験協同組合へ転職～現在に至る

3. 学会活動

- ・地盤工学会 関西支部 幹事(1985～1987年: 経理担当幹事)
- ・地盤工学会 本部理事(2007～2009年: 地盤工学会の公益法人化)
- ・地盤工学会 中部支部 副支部長(2010～2011年: ～評議員)
- ・地盤工学会 中部支部 支部長(2013年4月～2014年4月)
- ・地盤工学会 中部シニア活性化委員会委員長(2016年4月～現在)

4. 受賞・受賞関係

- ・2010年4月 地盤工学会 功労章 受章
- ・2011年6月 地盤工学会 論文賞(和文部門) (連名者として受賞)
- ・2016年6月 地盤工学会 事業企画賞 共同受賞 (連名者として受賞)

5. 著書(共同執筆)

- ・1886年11月: 新編大阪地盤図
- ・1995年 1月: 地盤工学会関西支部 海底地盤－大阪湾を事例として－
- ・1998年 3月: 鹿島出版会, 丘陵地の地盤環境(共同執筆)
- ・2009年11月: 建設物価調査会 改訂 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために
- ・2013年10月: 全地連 ボーリングポケットブック(第5版)

1. 近代的地盤調査の開始

6 3

(森 博: 土質調査に於ける二つの新しい試みに就て, 1953年4月, 土と基礎 NO.1)

(1) 標準貫入試験 (1951年国内で初めて実施されたとの記録: 中央開発(株))



故 森 博 会長



標準打込試験は小型のスプーンサンプラーを打込んで其の貫入抵抗を測るものであるから単に貫入抵抗値を知り得るのみでなく、其の抵抗を示した土を採取して観察する事の出来るのが長所である。更にテルツァギ其他の人々によつて貫入抵抗に対応する土の剪断抵抗の値が実験的に見出されている。此の値は実験値であり而も相当大きい偏差を含んでいるものであるから絶対に正確を期すると云ふ訳には行かないが現在テルツァギの与へている表は充分地盤支持力の想定が出来る程度に示されて居る。従つて標準の型式と寸法を持つた打込試験機によつて標準の方法で貫入抵抗を測定すればこれによつて地盤支持力の大略を判定する事が出来る。

(★学会誌創始者の最上先生: 研究者のみでなく技術者の報文も加える★)

1. 近代的地盤調査の開始

6 4

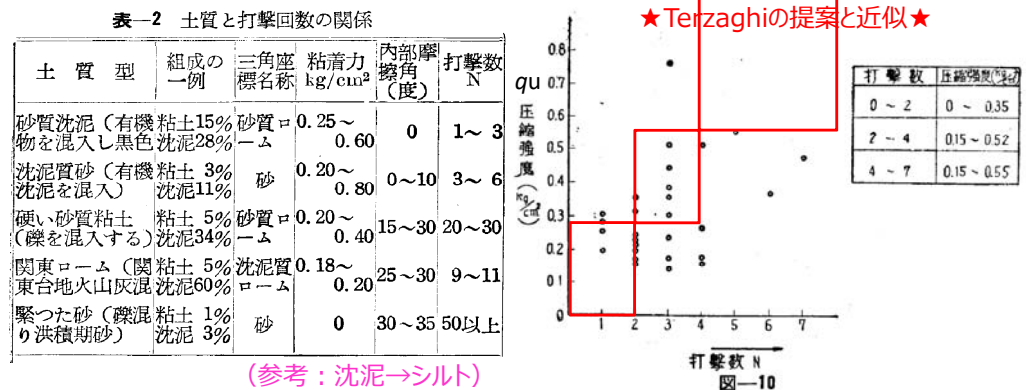
(故 森 博: 土質調査に於ける二つの新しい試みに就て, 1953年 土と基礎 NO.1)

(1) 標準貫入試験

* 表-2 : 約95種類の土を土質に分類しN値と地盤工学特性を対比

* 図-10: 約50試料の圧縮強度とN値の対比表

・注) 圧縮強度は打込試験機で採取→攪乱された強度



紹介: 最上武雄・森博: 基礎工学と土質調査, 1954年9月 (森博は32歳の若さでこの本を出版)

1. 近代的地盤調査の開始

6 5

(1) 標準貫入試験 (1951年国内で初めて実施されたとの記録：中央開発(株))

(★標準貫入試験の歴史をひもとく：2018.5.25 黒田さんの集中講座で紹介された★)

- ・1951年 建設省建築研究所がアメリカから輸入
- ・1952年 鉄道研究所隅田川用区基礎調査で実施
- ・1953年 土質工学会誌「土と基礎」創刊号で、故 森 博 氏 (中央開発(株)) が紹介
- ・1959年 土質工学会サウンディング委員会が設立される
(地盤調査において、調査会社が標準貫入試験を実施するまでに≒10年)
- ・1961年 JIS A 1219 として規格が制定される
(以降、全国的に実施され、広く普及)
- ・2005年 国際規格 ISO 22476-3 Standard penetration testが承認される
- ・2013年 JIS改正→JIS A 1219:2013 (国際規格化を受けて大きく変更)
 - ★レイモンドサンプラーからSPTサンプラーへ名称変更
 - ★改正後：設計に用いるN値を求めるという項目が除外された
(特例条項：付属書A 設計に用いるN値を求めるための標準貫入試験仕様)
 - ★ " : 主として、粗粒土の強度と変形定数を求めるために用いられるが他の種類の地盤に適用しても良い
(改正前：適用すべき対象土層の定義がなかった)

1. 近代的地盤調査の開始

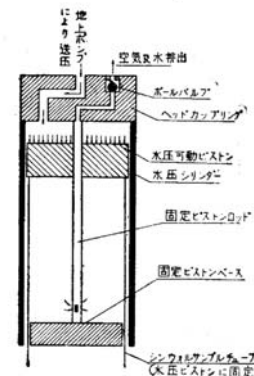
6 6

(故 森 博：土質調査に於ける二つの新しい試みに就て、1953年 土と基礎 NO.1)

(2) 固定ピストン型シンウォールサンプラー (1951年製作)

(b) 固定ピストン型シン
ウォールサンプラー

(Thin wall sampler
with stational piston)



筆者は此の型の径4吋のサンプラーを昭和 26 年に製作して以来国有鉄道、三井倉庫、住友倉庫、カルテックス石油会社等の調査に使用した。先端に固定ピストンを附けて残土の混入を防ぐと共に、肉厚2mm以下の引抜鋼管をサンプラーチューブとして使用した。そしてサンプラーの圧入も打撃貫入を避けて滑車法 (Block and Tackle Method) により静荷重圧入とした。此のサンプラーは軟い粘土を取るのに、最も適して居り、軟弱粘土でも試料の採取率は 98 乃至 100 % であった。通常コアボーリングでは 50% 位に、ドライサンプラーで 80% 位に流失又は圧縮されるのに比してはるかに自然状態の試料が得られる。然し此の型のサンプラーは極く軟い粘土又は沈泥に限って使用すべきで、砂混り粘土では圧入が甚だしく困難であった。此の型のサンプラーは運輸省、建設省等の研究所に於て試作せられ、研究所を中心に各地で不擾乱試料の採取が実施されている。(30m以浅で使用)

★30m以深：Northwestern大学のOsterberg教授の水圧サンプラーを基に新たに考案・適用)

2. 超大橋調査 -プレッシャメータの活躍- (先輩方の技術伝承)

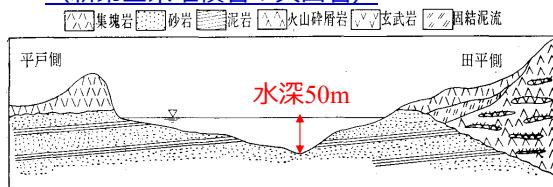
6 7

(1) 若戸大橋・関門橋後の平戸大橋の調査(4年調査、1973～1977年施工)



(平戸大橋の位置)

(新第三系堆積岩+火山岩)



平戸大橋の地質概要 (坂本・犬東, 1974)

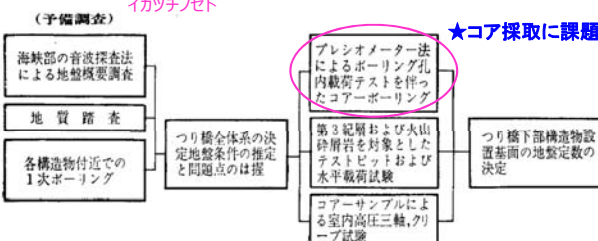
★海峡は「雷の瀬戸」：最大6ノット≒11km/hの潮流★
イカツチノセト



高さTP+87.7m

(平戸島方面)

(田平側からみる平戸大橋の全景)

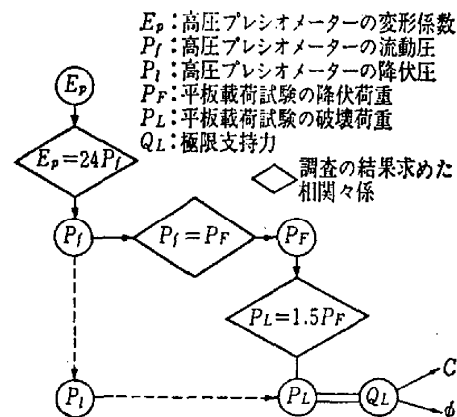


(調査手法のフロー：坂本・犬東, 1974)

(★調査のポイント ⇒ プレッシャメータ：1測定/3m)
(関門橋：1測定/15m)

★地盤定数推定フローチャート★

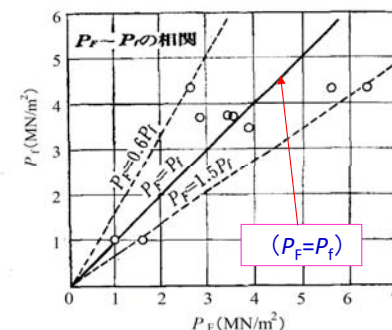
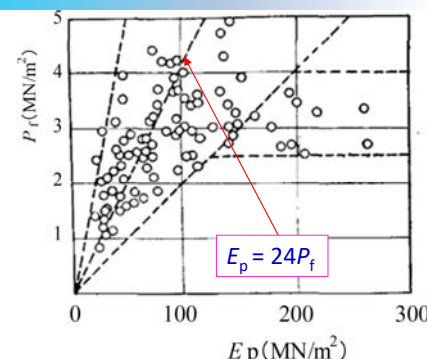
6 8



※平板載荷試験結果から、
 $P_L/P_F = 1.30 \sim 1.90$ となり、
 $= 1.50$ と推定

●これらを元に、地盤定数を設定

(詳細は、坂本良一、犬東洋志：
平戸大橋の地盤調査、土と基礎、1974.6参照)



● $P_L \div Q_L$ (平板載荷試験で用いる $\phi=60\text{cm}$, $Dr=0\text{m}$ として逆算)

→ * ϕ が卓越している岩盤: c のレンジを定めておいて ϕ を算定
* c が卓越している岩盤: ϕ のレンジを定めておいて c を算定

表-3 E_p 値と岩盤区分

岩質	A	B	C	D	E	F
泥流	350	800	1500			
火山碎屑岩	350	800	1500	2300	4000以上	
玄武岩	1200	4000	10000以上			
砂岩	350	800	1500	2400	3500	4500以上
ケツ岩	1500	2400	3500	4600	3300以上	

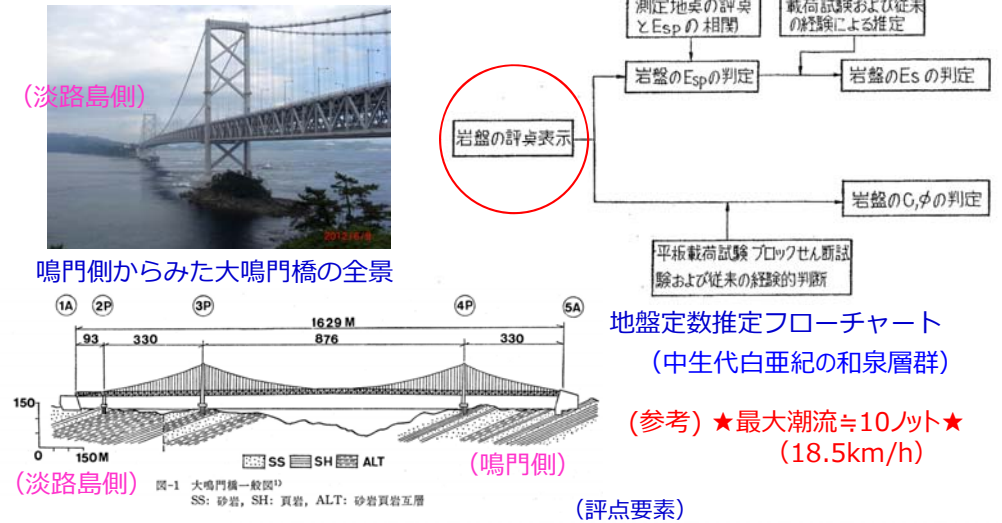
表-4 岩盤区分とそのセン断定数

岩質	ランク	E_p (kg/cm^2)	P_f (kg/cm^2)	Q (t/m^2)	c (t/m^2)	ϕ (度)	備考
泥流	A	350	10	150	23	(10°)	
	B	800	20	300	44	(10°)	
	C	1,500	30	450	65	(10°)	
火山碎屑岩 (集塊岩)	A	350	10	150	15	(20°)	
	B	800	30	450	29	(20°)	
	C	1,500	50	750	72	(20°)	
砂岩	A	350	10	150	(7)	30°	
	B	800	25	375	(14)	32°	
	C	1,500	40	600	(14)	34°	
ケツ岩	A	1,500	40	600	88	(10°)	
	B	2,400	50	750	110	(10°)	
	C	3,500	>50	>750	>110	>(10°)	

ただし () 内を推定した。

(詳細は⇒引用元: 坂本良一, 犬東洋志: 平戸大橋の地盤調査, 土と基礎, 1974.6)

①表-3を基本にフローチャートから P_L を推定
② Q_L から (c , ϕ) を推定 (表-4)



★鳴門の渦潮は観光には適しているが,
地盤調査・施工時には, 命がけ (先人に感謝)



● 評点法による岩盤区分 (能戸 仟・福澤 久他)

(評点算定式)

$$P = \left(\frac{\sum a_i \cdot W_i}{L} \right) + \left(\frac{\sum b_j \cdot X_j}{L} \right) + \left(\frac{\sum c_k \cdot Y_k}{L} \right) + \left(\frac{\sum d_l \cdot Z_l}{L} \right)$$

ここに

P : 総合評点

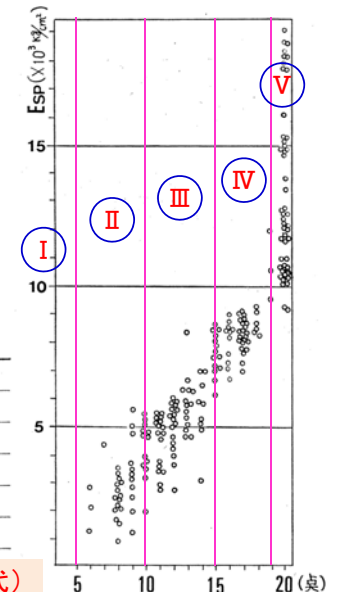
L : 区間長さ (m)

a_i, b_j, c_k, d_l : 各要素の区間内の部分評点 (0~5 点)

W_i, X_j, Y_k, Z_l : 上記の各評点をもつ部分層厚 (m)

表-13 岩盤ランク別設計地盤定数

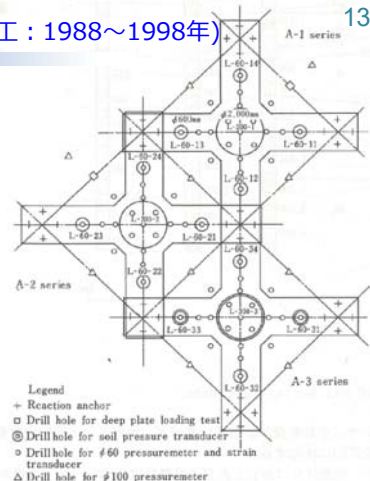
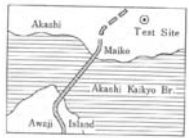
岩盤ランク	コア岩区分	評点	E_p (kg/cm^2)	E_s (kg/cm^2)	C (t/m^2)	ϕ (度)
I	A	19~20	9,000 以上	20,000	80	40
II	A'~B	15~18	6,500~9,000	15,000	50	35
III	B'~C	10~14	3,500~6,500	6,000	30	30
IV	C'~D	5~9	1,000~3,500	2,000	20	25
V	E	4 以下	1,000 以下	800	10	15



(●プレッシャーメータ試験が超大橋調査に活躍した時代)

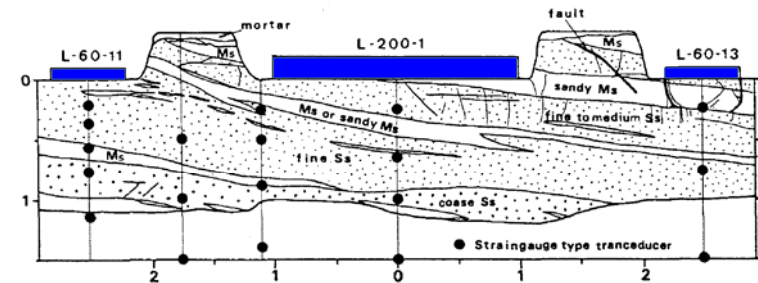
※大鳴門橋の資料 宮島圭司: 大鳴門橋の地盤調査, 応用地質, (17-4号)
大鳴門橋の地盤調査(II), 応用地質, (23-1号)

● (陸上部) 神戸層大型平板載荷試験



- (目的) ①ボーリングコアによる室内試験 → 応力解放, 連続的に得られない
 ②プレッシャメータ試験は, 変形係数(E_{sb})を推定できるが, 設計定数 (強度, 変形)を求める段階に至っていない.
 →地盤内の応力・ひずみを測定し, 実測の岩石試験, E_{sb} からの評価で, 試験結果をシミュレートすることが可能となるか
 →載荷試験は, $\phi=60\text{cm}$, 2000cm の径で実施. 載荷後に, トレンチ観察.
 (載荷試験の特徴) 計測器をカメラで測定→安全な載荷試験への移行
 (詳細は, 土質工学会: 土質工学ケースヒストリー第1集を参照されたい)

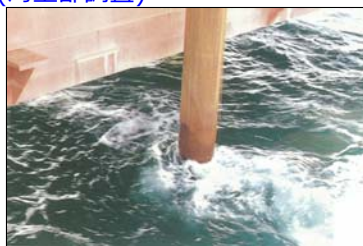
●本四公団 神戸層大型平板載荷試験



(A-1)断面

- ①試験地の神戸層の E_{sb} は, 海峡に分布する神戸層の E_{sb} と比較すると小さい
 ②地盤モデルは, プレッシャメータ試験とボーリングコア岩石試験により設定する.
 ③神戸層のような複雑な多層地盤の支持力・沈下特性は, 地盤中に狭在する泥岩などの弱層の影響を強く受けることが判った.
 ④孔内水平載荷試験による E_{sb} の1.5~2.0倍の値を入力するとFEM計算値≒実測値
 ⑤明石海峡大橋基礎地盤への試験結果の適用 (各分帯の地盤定数を設定)
 ・弱層の押し出し破壊が地盤の破壊につながる結果は, 淡路側アンカレイジの基礎地盤に適用 (花崗岩の上部に神戸層が分布).

(海上部調査)



* ボーリング用2重管ケーシングパイプ ($\phi=1,200\text{mm}$, 550mm)



(SEP上のボーリング架台)



* 2P, 3PではSEP-KAJIMA, 創成2号SEP (潮流 $\text{max} \approx 7\text{ノット} \approx 12\text{km/h}$, 水深-46m)



(大型三重管サンブラー組立)



(大型三重管サンブラー組立)



(大型三重管サンブラー次の段取り)



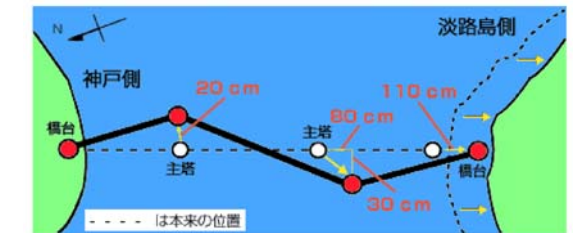
(明石礫層のサンプリング直後状況)

★阪神大震災による影響



神戸側

淡路島側



★1995年1月17日AM5:46,
明石海峡付近を震源として発生
したM7.2の「阪神淡路大地震」

★明石海峡大橋の主塔が立ち、吊
橋の建設が佳境に入った時、予
想もなかった「大地震」が発生。

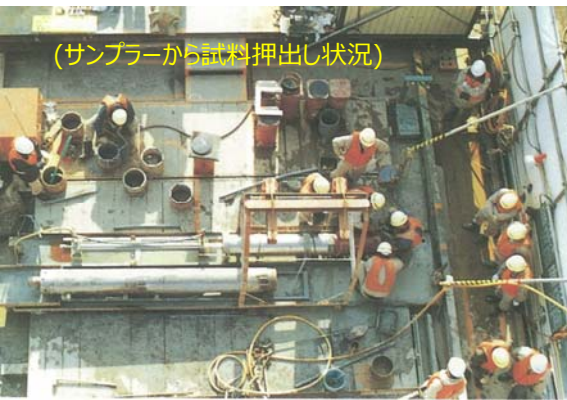
★淡路島と本州（神戸市）の間が
1 m広がった。

★1998年(H10年)4月5日に完成

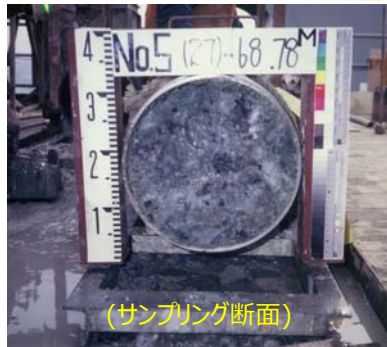
この明石海峡大橋の建設の最中に、1995年1月17日、阪神・淡路大震災を引き起こした兵庫県南部地震がその直下で発生しました。震度7という激震に明石海峡大橋は見事に耐えたのです。この時、主塔にケーブルを掛け渡した直後でした。震度7という激震にあい、二つの主塔は最大で1 m近く地盤ごと移動し、また、両端のアンカレッジも1.1 m広がりましたが、その後の調査で、主塔他橋の施設には何ら損傷がないことが分かりました。念には念を入れた地震対策の面でも、明石海峡大橋の技術は世界でもトップクラスであることを証明したのです。

(引用元: KAJIMA HP)

https://www.kajima.co.jp/gallery/const_museum/hashi/history/06/main6.html



(サンプラーから試料押出し状況)



(サンプリング断面)



(採取した試料の事例)

(4)さらに、紀淡海峡大橋を含む新国土軸へ

★太平洋新国土軸の主軸★<http://t-kokudojiku.jp/kokudo1/index.htm>

静岡県から渥美半島、伊勢湾、紀伊半島、紀淡海峡、淡路島、四国地方、そして豊予海峡を経て九州地方に至る約800kmを、高速道路や高速鉄道で結び新たな国土軸を形成する構想である。21世紀の架橋技術は???

★さらに太平洋新国土軸による沖縄への延伸★

沖縄までの国土軸も（トンネル構想：琉球大_藍壇先生）

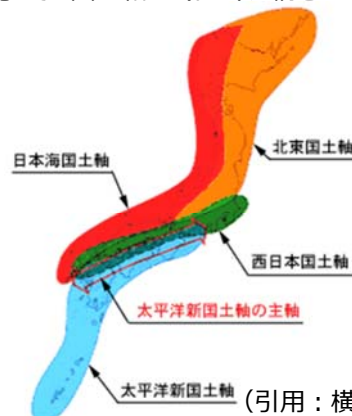


(紀淡海峡) (淡路島)

(伊勢湾口) (渥美半島)

表-1 国内の主な海峡横断プロジェクト

海峡名	海上距離	最大水深
津軽海峡	東側 約13km	270m
	西側 約19km	140m
東京湾口	約15km	80m
伊勢湾口	約20km	100m
紀淡海峡	約11km	120m
豊予海峡	約14km	200m
早崎瀬戸	約5km	120m
長島海峡	約2km	70m



(引用：横山功一：土木学会論文集No.546/VI-32, 1996)

(4)紀淡海峡大橋の調査（自動高圧プレスシャメータ適用）



(SEP-KAJIMA H7年2～3月)



(載荷最大圧力≒20MN/m²)



(エアードライブ式ハイドロリックポンプ)

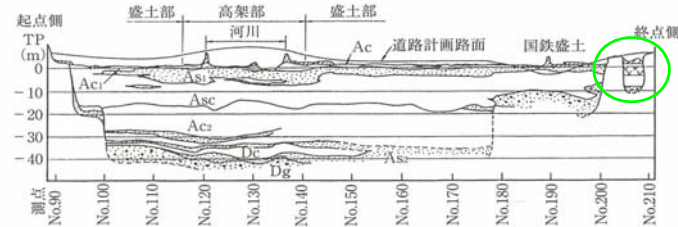
モノセル型ゾンデ

3. 豊岡バイパスの軟弱地盤対策工

- 調査・設計：昭和52年度(入社5年目)
- 施工管理：昭和53年8月～昭和55年3月

緑色：BP関連

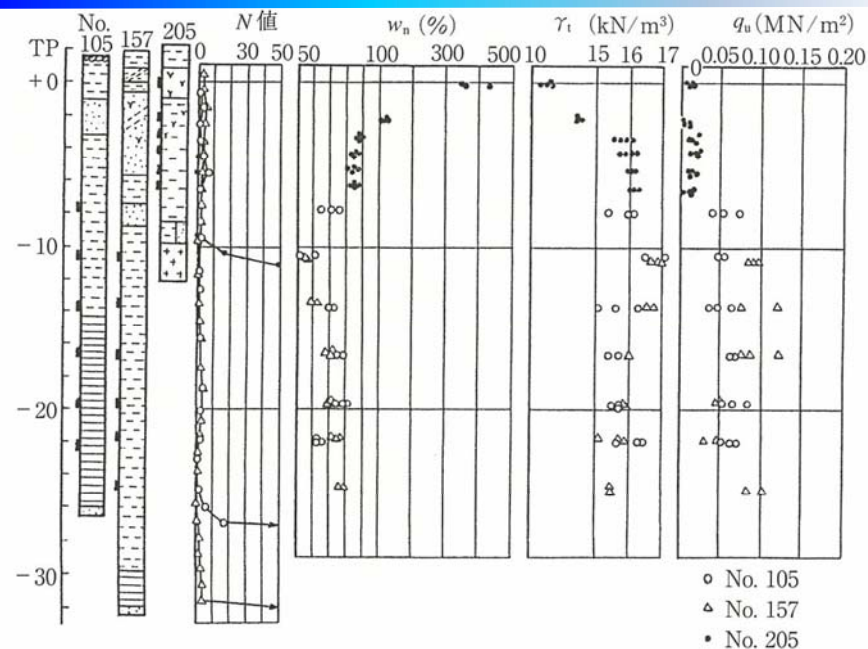
起点側



- (特徴)
- ・厚い軟弱地盤の分布
 - ・BPは高盛土+低盛土
 - ・河川堤防：周辺地盤沈下
 - ・トンネル掘削の施工管理

3. 豊岡バイパスの軟弱地盤対策工

(2) 代表的な地盤特性の深度分布 ★代表的な沖積粘性土層（海成粘土）



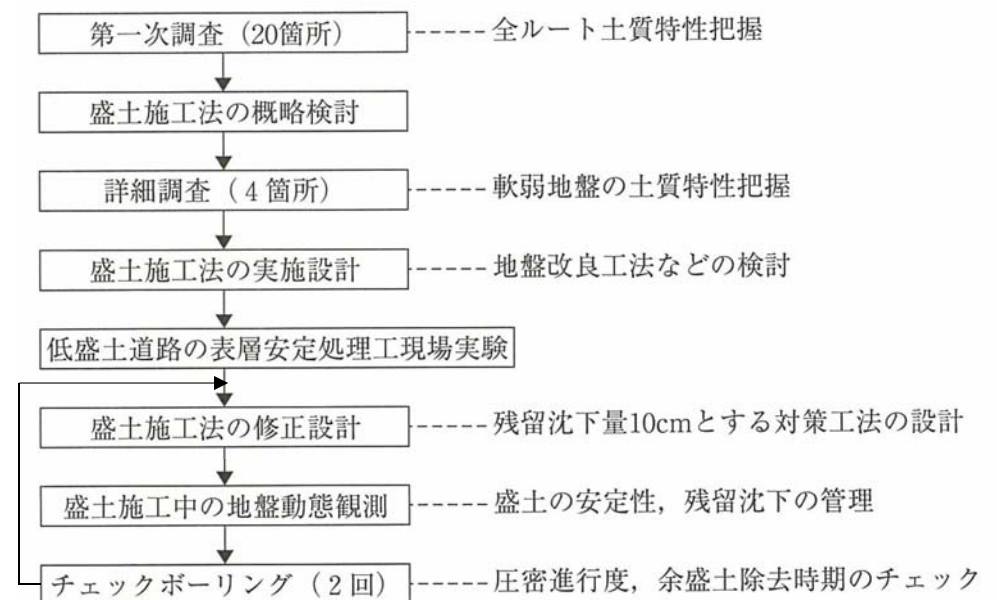
3. 豊岡バイパスの軟弱地盤対策工

(1) トンネルのずり(岩塊)を軟弱地盤上の盛土材に適用



3. 豊岡バイパスの軟弱地盤対策工

(3) 盛土施工に関する調査・施工フロー

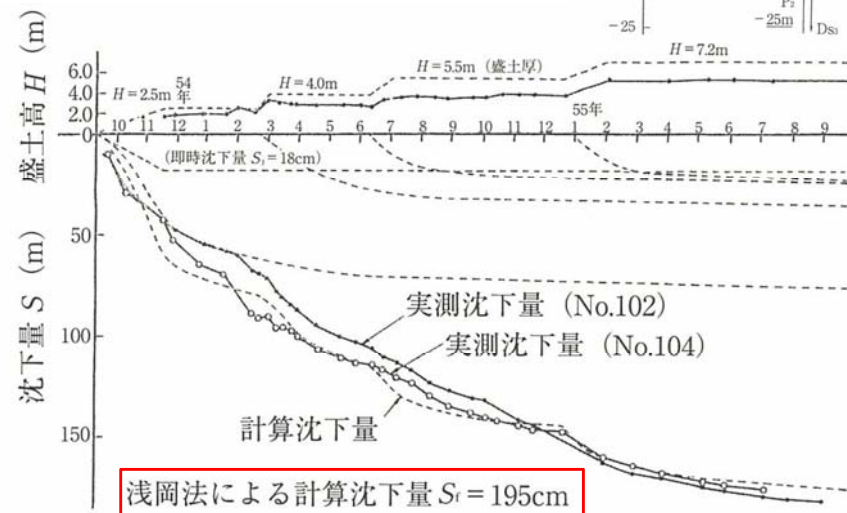


3. 豊岡バイパスの軟弱地盤対策工

(4) 動態観測結果

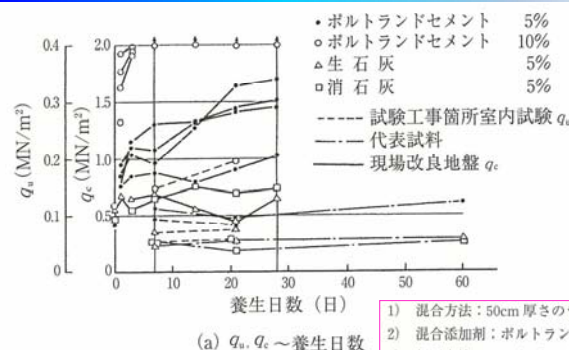
(バイブル)

● 柴田徹 編著：建設技術者のための現場計測工法
日刊工業新聞社，1979



3. 豊岡バイパスの軟弱地盤対策工

(5) 側道部：表層安定処理工を採用



バケットスタビライザによる混合



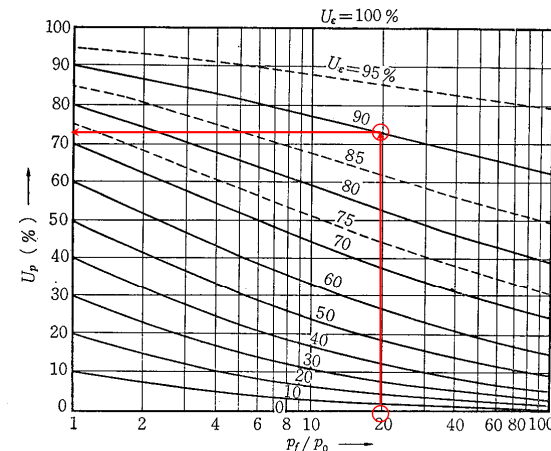
・目標CBR=10%

- ・攪拌状況を直接確認出来，信頼性高い
- ・道路での実績多い
- ・アームの届く範囲は施工可能

3. 豊岡バイパスの軟弱地盤対策工

(4) 動態観測結果における留意点 ★三笠の圧密度の適用★

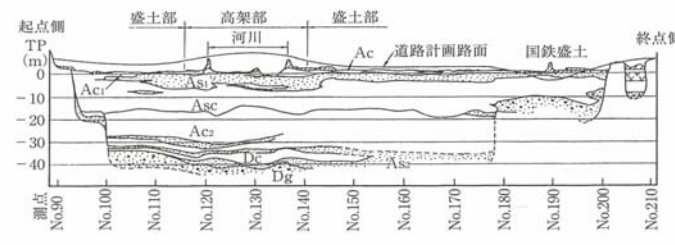
★沈下観測からの圧密度推定 → 強度増加を期待する際の留意点



U_e ：ひずみに関する圧密度
 U_p ：応力に関する圧密度

図-3.30 U_e と U_p の関係 (三笠)

4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工



4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

29



4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

30



4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

31

(1) 対策工法の選定

- ・ 法先に鋼矢板施工
- ・ 法先に固結工法による改良杭を施工
- ・ 堤体下に構造物（パイルネット・パイルスラブ等）施工
- ・ 堤体材料に軽量盛土材を施工



- 堤防は構造規模や施工性、経済性および耐久性等から基本的には「土堤原則」
- 経済性・河川堤防・周辺の井戸への影響等を考慮し、固結工法を採用
- 改良深さがGL-41.2mと非常に深いことから、施工可能な工法が限定された
→ 深層混合処理工法（CDM工法）の適用

4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

32

(1) 対策工法の着目点

1) 計画段階

- ① 地盤定数の設定，改良幅，改良地盤特性，改良深度の変更
- ② 周辺家屋への影響判定基準
- ③ 最適施工断面の設計仕様の設定（解析による影響度判定）

2) 施工性の検討

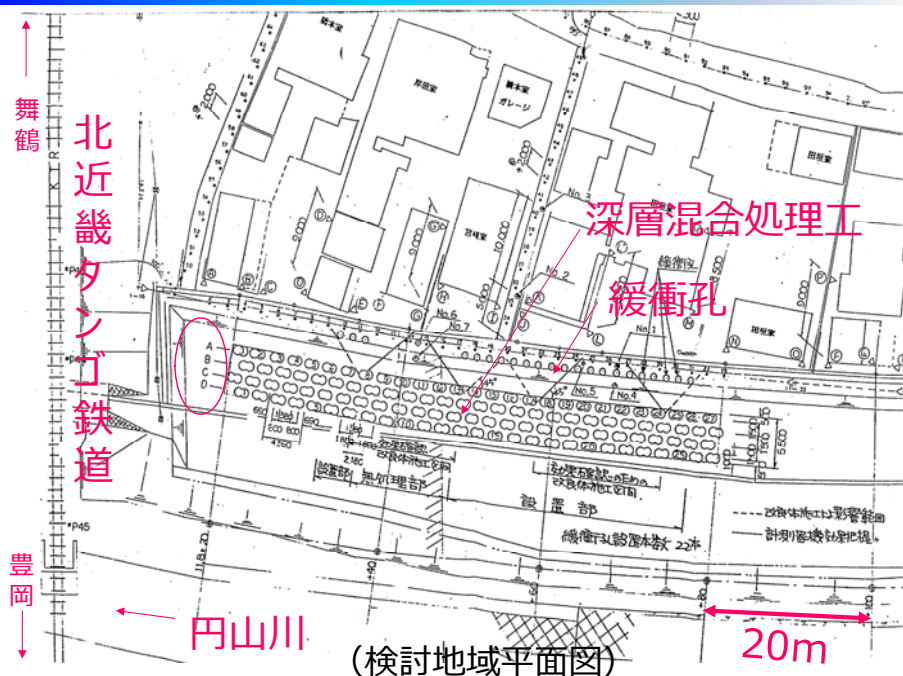
施工時の変位抑制対策（緩衝孔の設置）

3) 情報化施工

- ① 動態観測の実施
- ② 解析と施工の対比

4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

33



4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

34

(施工：清水建設)

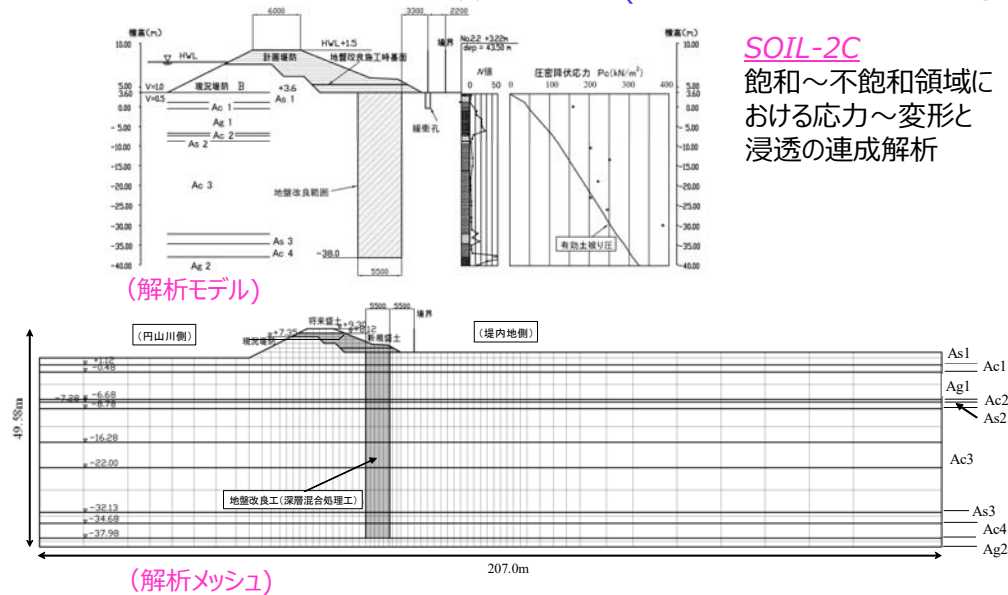


4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

35

(1)基本解析 (改良地盤の深度, 幅の変更, 改良地盤変形係数)

★解析ソフト-基礎地盤コンサルタンツ(株)のSOIL-2C(圧密過程を考慮した線形計算)



4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

36

(1)基本解析 (改良地盤の深度, 幅の変更, 改良地盤変形係数)

★Input した地盤定数

材料番号	地層区分	平均N値	分布深度GL-(m)	γ_i (kN/m ³)	ν	E (kN/m ²)	k (m/s)	ϕ' (°)	c' (kN/m ²)	備考
13	盛土	-	-	20.00	0.33	3,000	1.0×10^{-5}	30.0	0	
①	As1	2	2.1	18.00	0.29	1,400	1.7×10^{-7}	37.2	0	$D_{20}=0.015\text{mm}$ $k=0.0036 \cdot D_{20}^{2.37}$ (m/s)
②	Ac1	1	3.7	17.00	0.29	2,700	1.6×10^{-8}	37.3	11.0	
③	Ag1	19	9.9	19.00	0.32	11,800	2.8×10^{-4}	32.0	0	
④	Ac2	2~4	10.5	17.00	0.29	2,700	1.6×10^{-8}	37.0	0	As2層と同様の地盤定数
⑤	As2		12.0	17.00	0.29	2,700	1.6×10^{-8}	37.0	0	
⑥	Ac3(上)	4	19.5	16.50	0.31	2,700	4.4×10^{-8}	36.0	18.0	
⑭	Ac3(中)	2	25.2	16.50	0.35	1,900	2.7×10^{-8}	27.8	21.0	
⑦	Ac3(下)	3	35.4	16.50	0.33	2,400	1.8×10^{-8}	30.0	8.0	
⑧⑨	As3	17	37.9	18.00	0.32	7,700	1.7×10^{-7}	31.0	0	$D_{20}=0.015\text{mm}$ $k=0.0036 \cdot D_{20}^{2.37}$ (m/s)
⑩	Ac4	3	41.2	16.50	0.33	2,400	1.8×10^{-8}	30.0	8.0	
⑪⑫	Ag2	55	-	19.00	0.29	37,600	1.2×10^{-4}	37.0	0	
⑮	改良体	-	-	-	0.30	$300 \times q_{up} \times a_p$	1.0×10^{-11}	-	$\left(\frac{q_{up}}{2}\right) \times a_p$	

注) q_{up} : 改良体一軸強度, a_p : 改良率

4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

37

(1) 基本解析（改良地盤の深度，幅の変更，改良地盤変形係数）

① 解析CASE

解析CASE	解 析 条 件			
CASE 1	無 処 理			
改良条件	改良長 (GL-m)	改良幅(m)	変形係数 (kN/m ²)	備 考
CASE 2	41.2	4.0	50,000	全層改良
CASE 3	41.2	4.0	100,000	
CASE 4	41.2	7.0	50,000	
CASE 5	41.2	7.0	100,000	
CASE 6	35.4	4.0	100,000	部分改良
CASE 7	35.4	7.0	100,000	

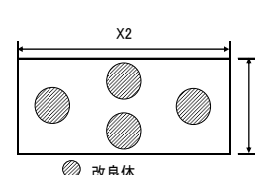
4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

38

(1) 基本解析（改良地盤の深度，幅の変更，改良地盤変形係数）

② 改良地盤定数の設定

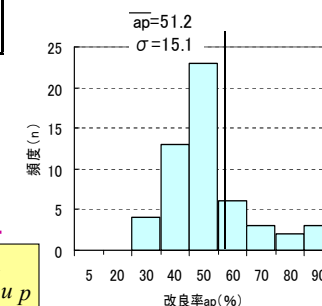
出典	土質区分	設計強度 q_{up} (kN/m ²)	現場強度 q_{up} (kN/m ²)
参考文献5)	粘性土	1,500	500～5,700
参考文献6)	粘性土	400	500～8,000
参考文献7)	腐植土	140	50～400
	腐植土		0～900
参考文献8)	粘性土 ～砂質土	—	500～2,500



$$a_p = \frac{\sum_{i=1}^n A_{pi}}{A}$$

$$\bar{E} = a_p \times E + (1 - a_p) \times E_o$$

$$\bar{E} = a_p \cdot E_p = a_p \cdot 300 \cdot q_{up}$$



4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

39

(1) 基本解析（改良地盤の深度，幅の変更，改良地盤変形係数）

③ 解析STEP

ステップ	解 析 条 件		概略図
STEP1	自重 無処理	自重 地盤改良	
STEP2	盛土工(Tp+5.3m) t=1ヶ月		
STEP3	盛土工(Tp+8.12m) t=1ヶ月		
STEP4	放置 t=1年		
STEP5	放置 t=2年		
STEP6	放置 定常		
STEP7	盛土工(Tp+9.30m) t=1ヶ月		
STEP8	放置 定常		

4. 円山川築堤盛土施工による周辺地盤沈下対策工

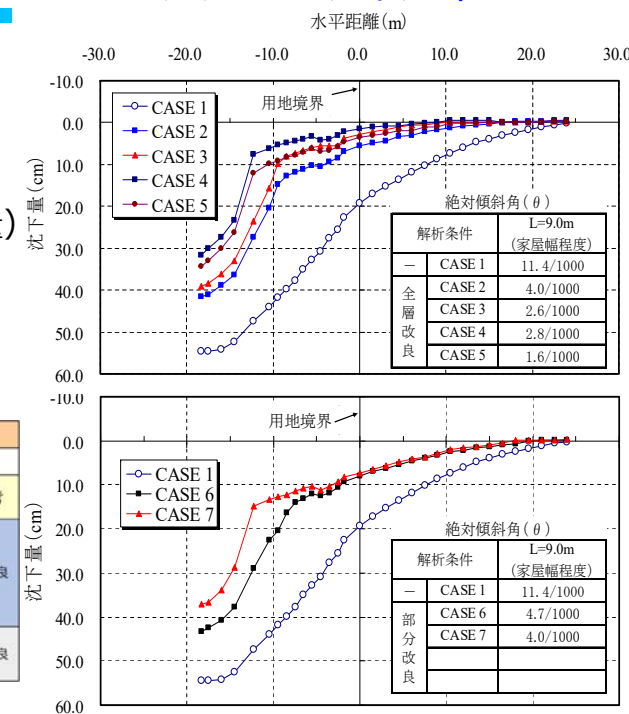
40

(1) 基本解析

- 改良地盤の深度
- 幅の変更
- 改良地盤変形係数

④ 解析結果（周辺沈下量）

解析CASE	解 析 条 件			
CASE 1	無 処 理			
改良条件	改良長 (GL-m)	改良幅(m)	変形係数 (kN/m ²)	備 考
CASE 2	41.2	4.0	50,000	全層改良
CASE 3	41.2	4.0	100,000	
CASE 4	41.2	7.0	50,000	
CASE 5	41.2	7.0	100,000	
CASE 6	35.4	4.0	100,000	部分改良
CASE 7	35.4	7.0	100,000	

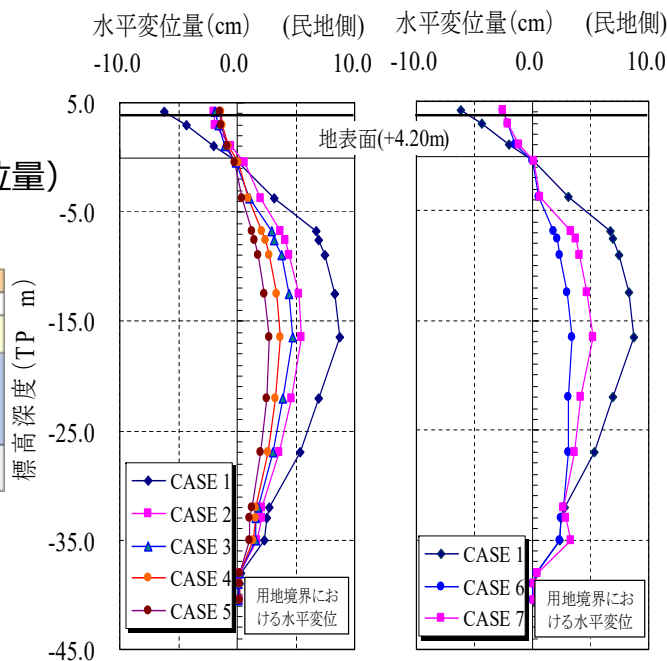


(1)基本解析

- ・改良地盤の深度
- ・幅の変更
- ・改良地盤変形係数

⑤解析結果（水平変位量）

解析CASE	解析条件			
CASE 1	無処理			
改良条件	改良長 (GL-m)	改良幅 (m)	変形係数 (kN/m ²)	備考
CASE 2	41.2	4.0	50,000	全層改良
CASE 3	41.2	4.0	100,000	
CASE 4	41.2	7.0	50,000	
CASE 5	41.2	7.0	100,000	
CASE 6	35.4	4.0	100,000	部分改良
CASE 7	35.4	7.0	100,000	



(1)基本解析（・改良地盤の深度，幅の変更，改良地盤変形係数）

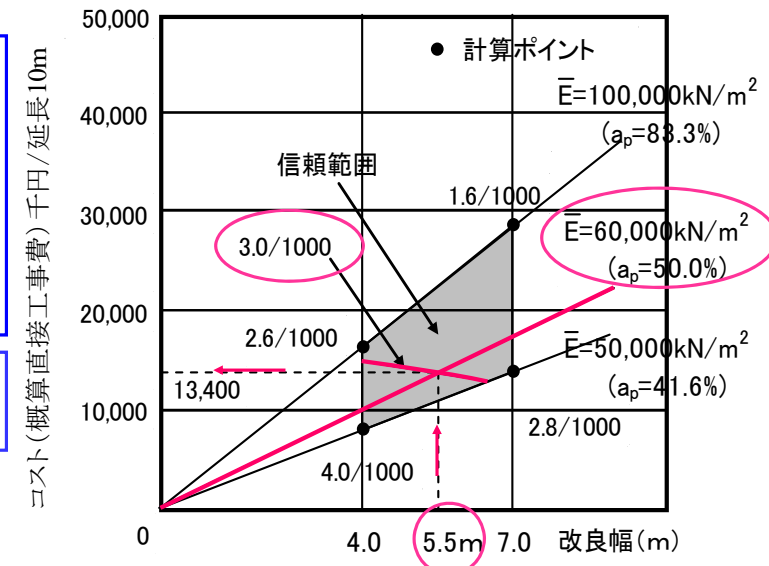
⑥ 解析結果の評価（家屋に対する傾斜の限度→改良仕様決定）

改良仕様決定

- ・改良長 $L=41.2\text{m}$
- ・改良幅 $B=5.5\text{m}$
- ・改良強度 $E=60\text{MN/m}^2$
- ・改良率 $a_p=50\%$

改良体強度

- ・ $q_u=400\text{kN/m}^2$

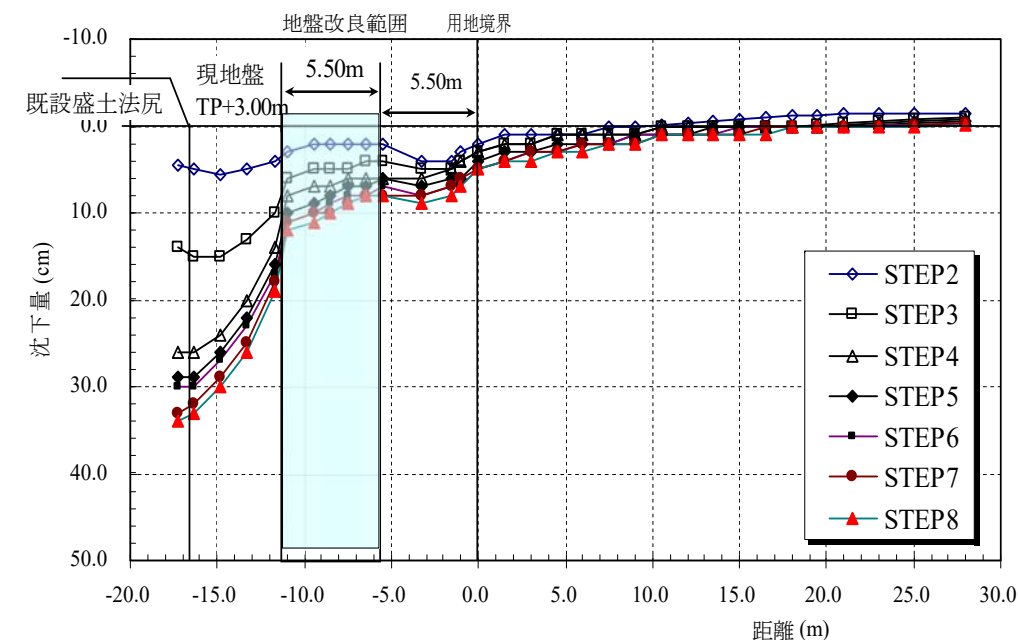


(2) 本解析

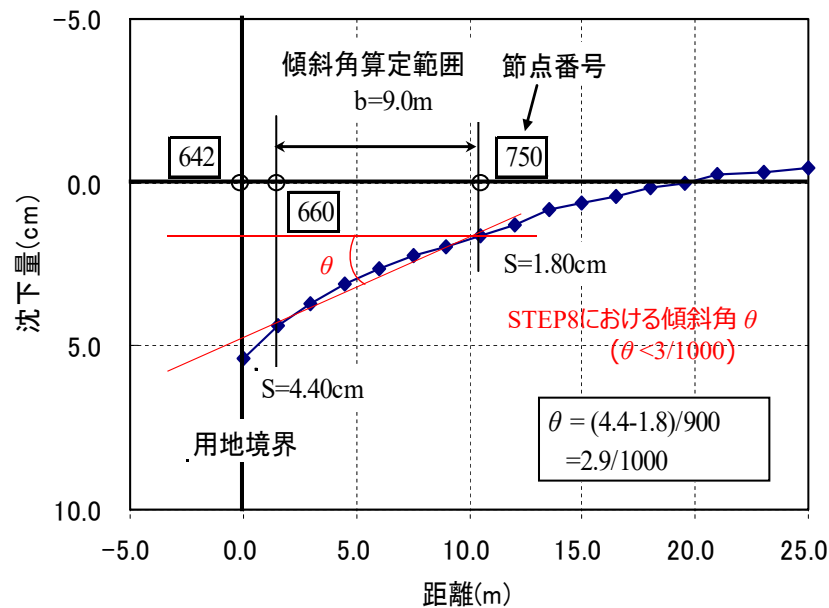
- ★基本解析で設定した設計断面にて最終解析
- ★サンドマット，地盤改良STEPを追加

ステップ	解析条件	概略図
STEP1	自重	$\sigma_{Tp+7.34}$
STEP2	サンドマット (Tp+4.0m) 地盤改良 $t=2\text{ヶ月}$	$\sigma_{Tp+4.00}$
STEP3	盛土工 (Tp+5.7m) $t=1\text{ヶ月}$	$\sigma_{Tp+5.70}$
STEP4	盛土工 (Tp+8.12m) $t=1\text{ヶ月}$	$\sigma_{Tp+8.12}$
STEP5	放置 $t=1\text{年}$	
STEP6	放置 定常	
STEP7	盛土工 (Tp+9.30m) $t=1\text{ヶ月}$	$\sigma_{Tp+9.3}$
STEP8	放置 定常	

(2) 本解析（★解析結果）



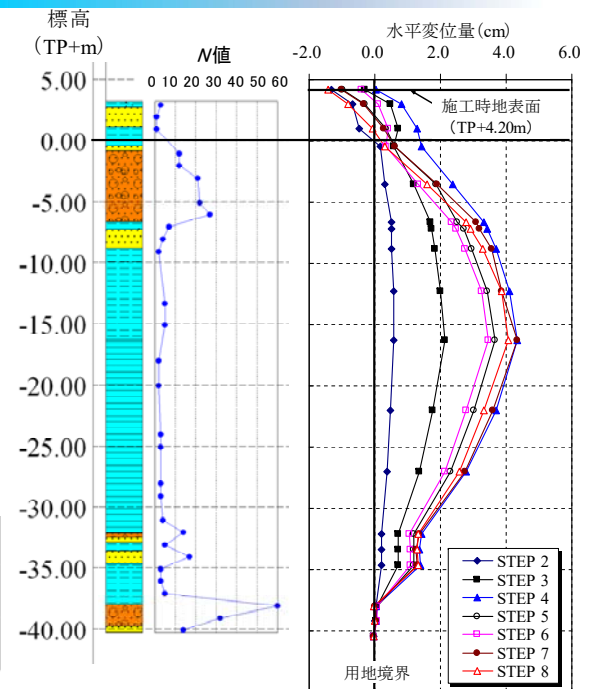
(2) 本解析 (★解析結果)



(2) 本解析

★解析結果 (水平変位量)

ステップ	解析条件	概略図
STEP1	自重	
STEP2	サンドマット (Tp+4.0m) 地盤改良 t=2ヶ月	
STEP3	盛土工 (Tp+5.7m) t=1ヶ月	
STEP4	盛土工 (Tp+8.12m) t=1ヶ月	
STEP5	放置 t=1年	
STEP6	放置 定常	
STEP7	盛土工 (Tp+9.30m) t=1ヶ月	
STEP8	放置 定常	



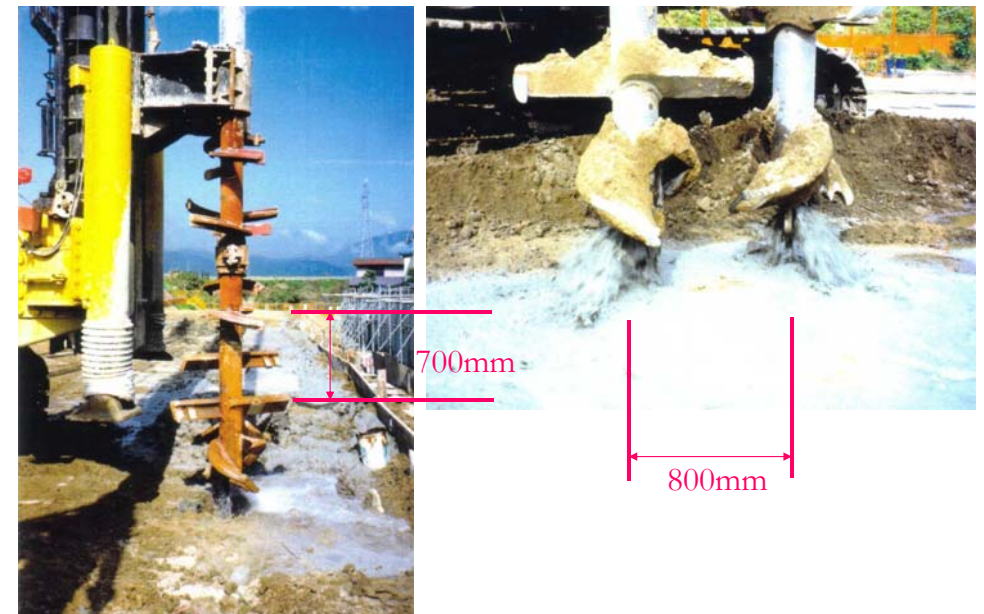
(3) 施工性に関する検討

(地盤改良, 試験盛土施工の影響は小さく施工可能と判断)

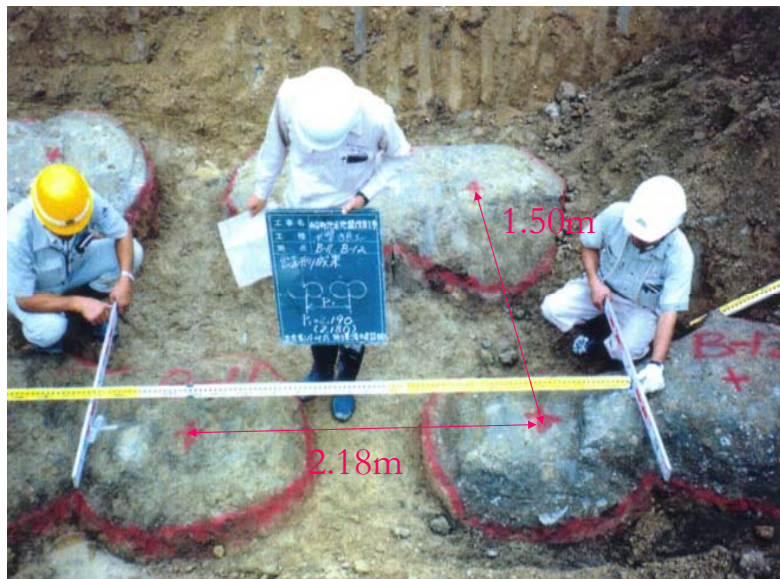
表-10 深層混合処理工法施工時に予想された問題点, 対策

種別	予想された問題点	問題点に対する検討結果	対策
1	杭打機の安定 (トラフィカビリティの確保)	良質土を1.2m盛土すれば、トラフィカビリティの確保可	盛土材の強度確保のためにセメント安定処理工を実施
2	砂礫土層 (GL-10.0m以浅)への攪拌翼の貫入の問題	無対策, 又は先行削孔機(アースオーガー)にて対応	先行削孔機(アースオーガー)にて施工 ($\phi=600\text{mm}$, $L \approx 10.0\text{m}$)
3	地盤改良施工時の周辺地盤に対する影響把握, 抑制対策	施工実績の検討, 対策工として緩衝孔の選定	緩衝孔の設置 ($\phi=600\text{mm}$, $L=4.0\text{m}$, 1.5mピッチ), 動態観測の実施
4	セメントミルクの砂礫層への流出	流向流速の測定結果, $v=6.35 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ であり, 流出の目安である $v=5.00 \text{ cm/sec}$ より小さいことを確認	
5	地盤改良による地下水汚染への影響把握	施工実績の検討	近傍井戸の事前, 施工中, 事後の水質検査の実施
6	近接家屋への地盤改良施工時の騒音・振動の影響把握	施工実績の検討	万能堀の設置, 騒音・振動測定
7	地盤改良に伴い発生するふくれ土の処理方法	盛土材としての使用の検討, 土質特性の把握	最大乾燥密度, 透水係数の盛土材とふくれ土の比較試験
8	地盤改良の打ち止め深度	事前調査位置での施工により打ち止め深度の確認	貫入速度 (0.5m/min 以下)を管理基準と設定

(4) 施工状況



(4) 施工状況



(5) 緩衝孔施工状況

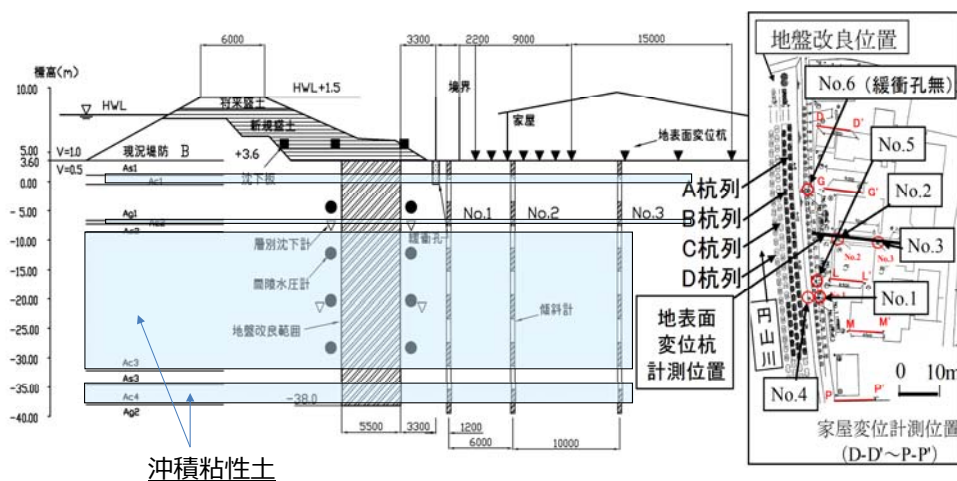
★施工時の変位対策★

アースオーガー（改良杭施工完了後は、セメント固化）

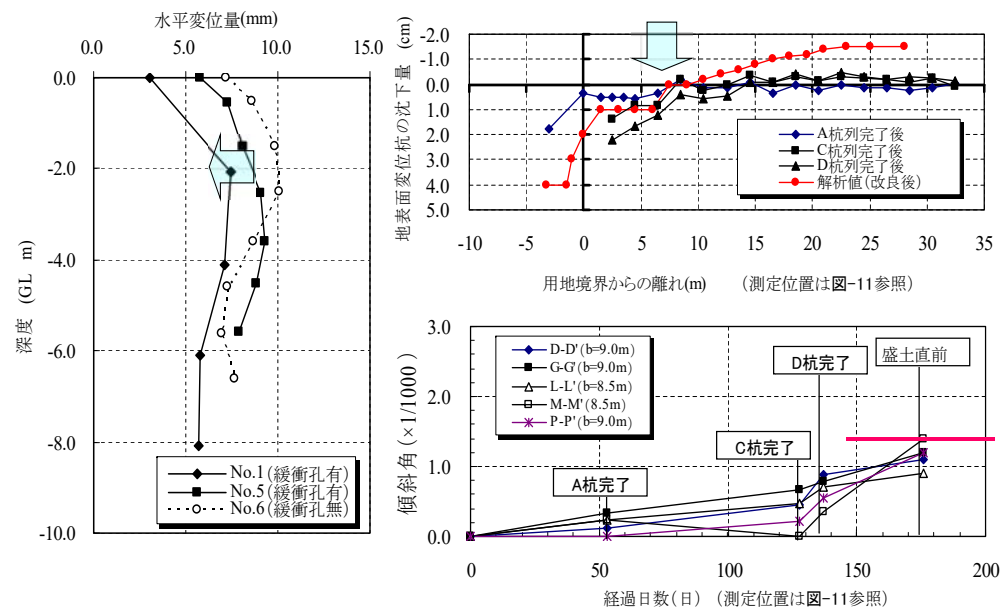


- ・緩衝孔の施工 ($\phi=600\text{mm}$)
- ・ピッチ=1.50m, 深さ=4.0m

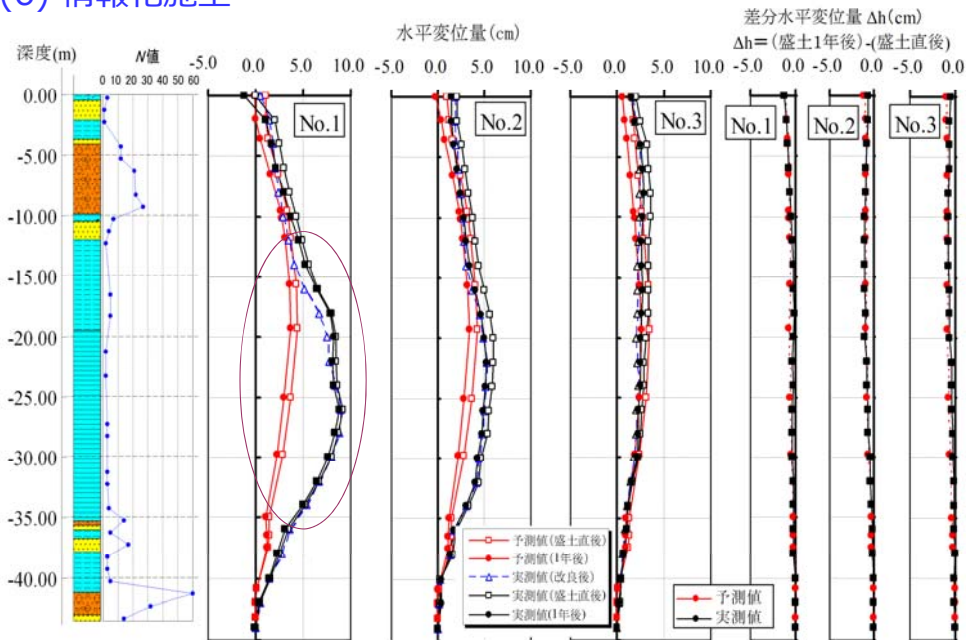
(6) 情報化施工



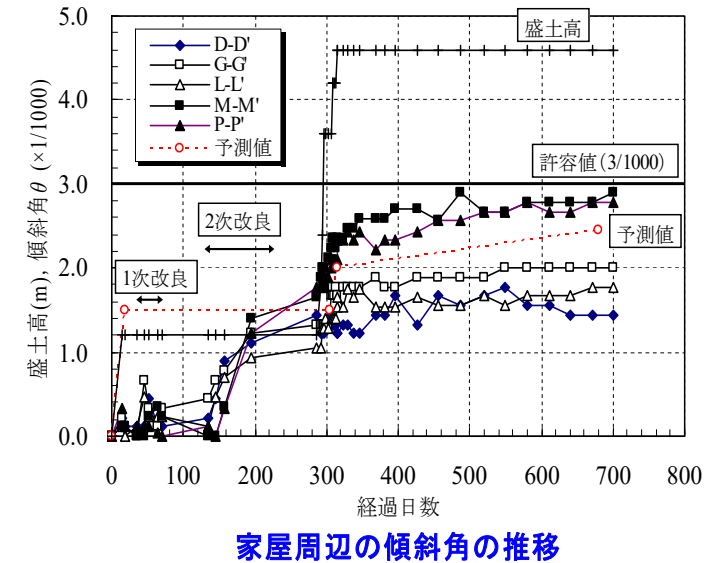
(6) 情報化施工



(6) 情報化施工

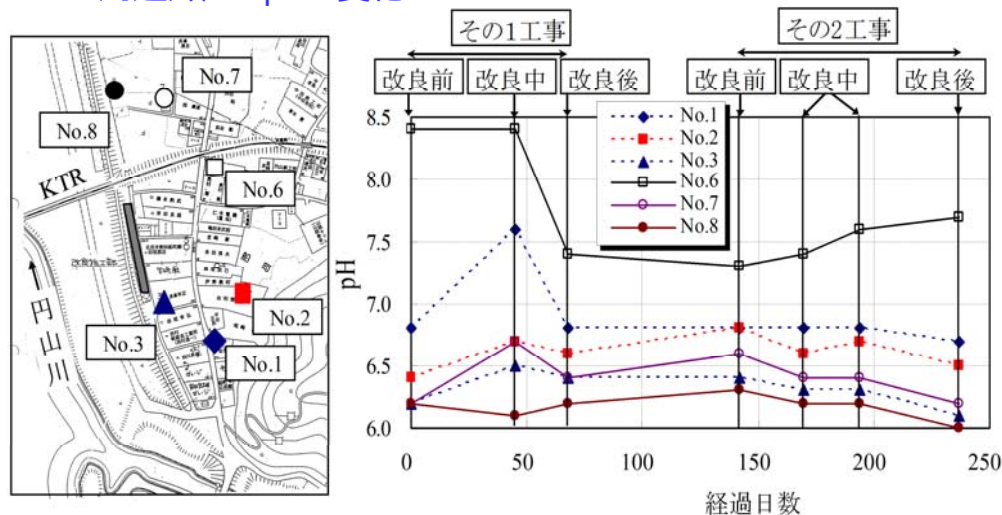


(6) 情報化施工



(6) 情報化施工

★周辺井戸のpHの変化



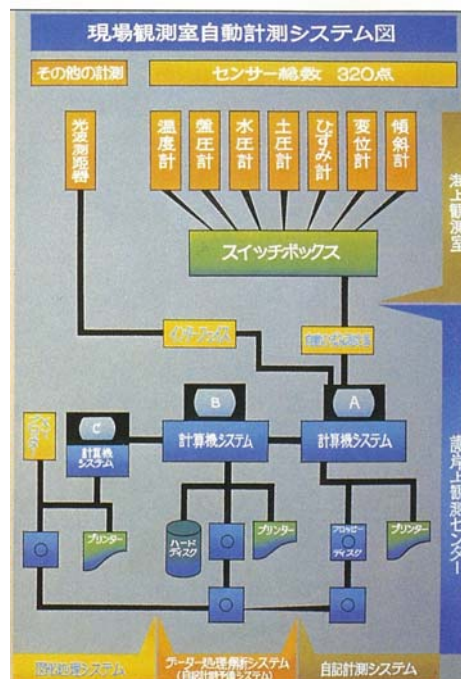
pHの標準的な値の範囲 (pH=5.8~8.6)

★担当工区の完成状況★

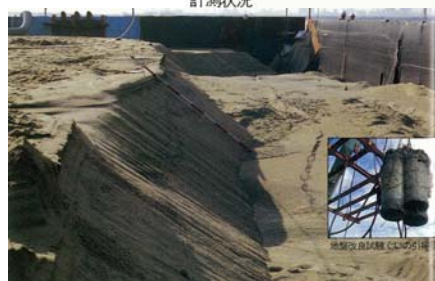


(1) 昭和57年 深層混合(CDM)破壊実験(堺7-3区)

61



(PC:BlackBox→)
HDD=100M(≒100万円)



(1) 昭和57年 深層混合(CDM)破壊実験(堺7-3区)

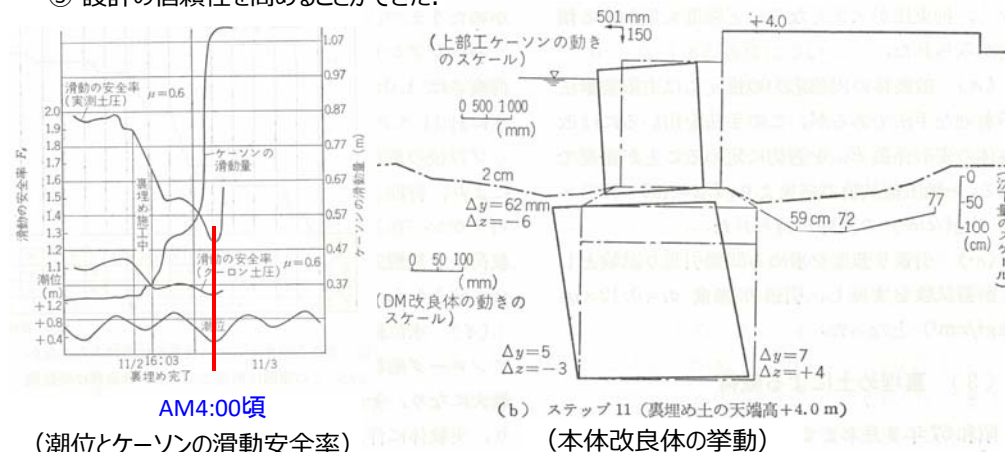
62

★検討項目

- ① DM改良地盤の現行設計法の検証
- ② 実験体(上部ケーソンとDM改良体)に作用する土圧・水圧の把握
- ③ 改良体に発生する内部応力と改良体強度の関係の検討

★結果

- ① CDM改良体を剛体と仮定する現行の設計法による安定計算手法はほぼ妥当である。
- ② 計測データにより载荷中の壁式DM改良体の挙動を把握, FEM解析により挙動再現可能
- ③ 設計の信頼性を高めることができた。



AM4:00頃

(潮位とケーソンの滑動安全率)

(b) ステップ 11 (裏埋め土の天端高+4.0 m)

(本体改良体の挙動)

(2) 北港F護岸深層混合(CDM)動態観測

63

(検討項目: CDM改良地盤の現行設計法の検証)

- ① 外力条件に対して安定であること
- ② CDM改良体内に発生する内部応力が許容応力度を超えない
- ③ 全体系としての安定を把握する



(計測位置案内図)



(計器埋設状況: 満潮時)

(2) 北港F護岸深層混合(CDM)動態観測

64

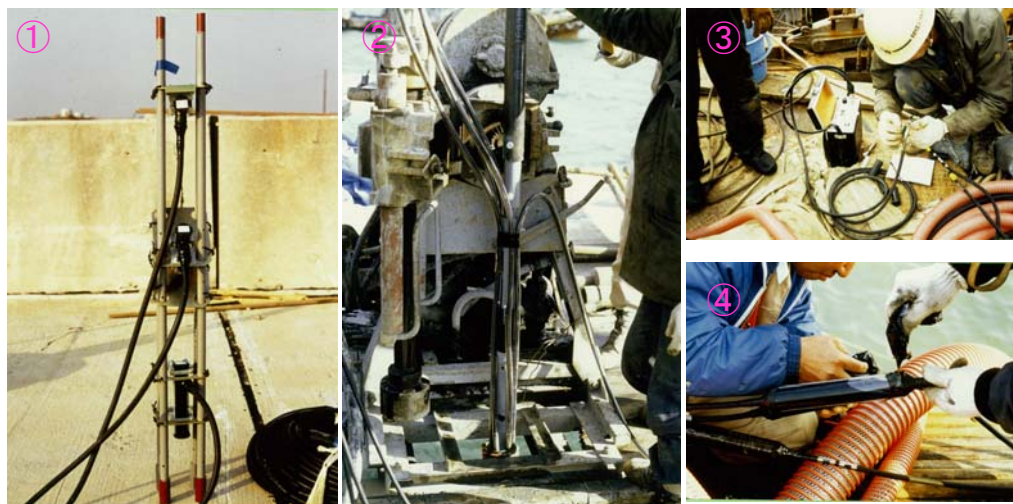
- ① 計器搬入時に作動チェック
- ② 組立時における写真確認
- ③ 組立



(2) 北港F護岸深層混合(CDM)動態観測

65

- ① 組立 (三成分ひずみ計：上から水平, 45°, 鉛直ひずみ計)
- ② 埋設状況
- ③ 埋設完了後に, 作動チェック
- ④ 延長ケーブルへの接続



(2) 北港F護岸深層混合(CDM)動態観測

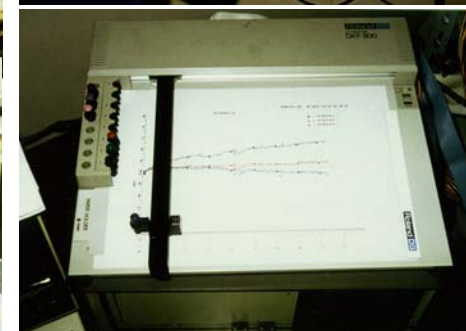
66



⑤ ケーブル敷設工



⑥ 計測システム全景 (オフライン)



⑦ データ整理作業
→計測結果は省略します。

(少し息抜き) 初めての海外渡航 (1985年12月6日)
(バンコクAIT~シンガポール南洋理工大学)

67



Prof. B. Broms

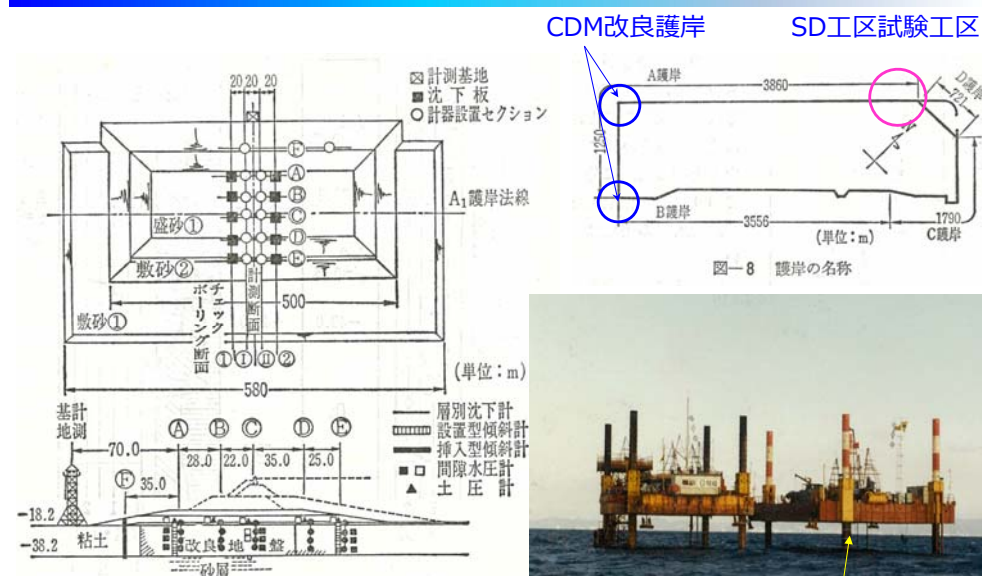
故棚橋由彦先生

故山内豊聡先生

故斉藤芳徳さん

(3) 関西新空港 (I 期) での計器埋設・動態観測

68



(基礎地盤C・応用地質JV)



(応用地質のSEP 基礎地盤のSEP)

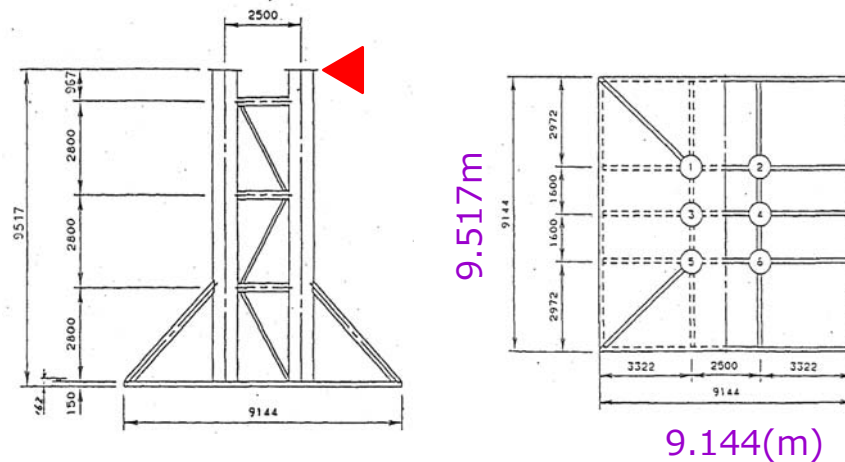
泉鋼業(高松)SEP(損料≒35万円/日/台)

(3) 関西新空港(I 期)での計器埋設・動態観測

69

1) CB沈下板の事例 (CB沈下板: 沈下計測とボーリング孔併用)

- サンドコンパクションパイルよりさらに強固な改良が必要な空港島の四隅には、深層混合処理工法が施工された。
- 本島全体は、サンドドレーン工法 (≒100万本(1期), 120万本(2期)) で施工。



9.144(m)

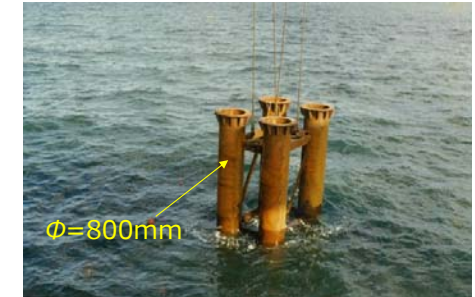
(3) 関西新空港(I 期)での計器埋設・動態観測

70

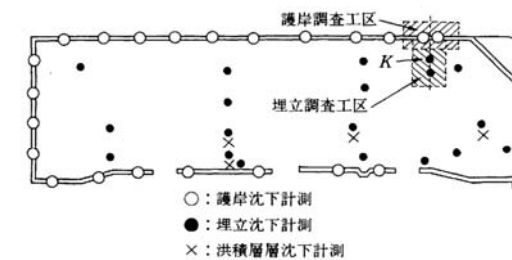
1) CB沈下板の事例 (沈下計測とボーリング孔併用)



CB沈下板 (4本) 敷設状況



CB沈下板敷設状況

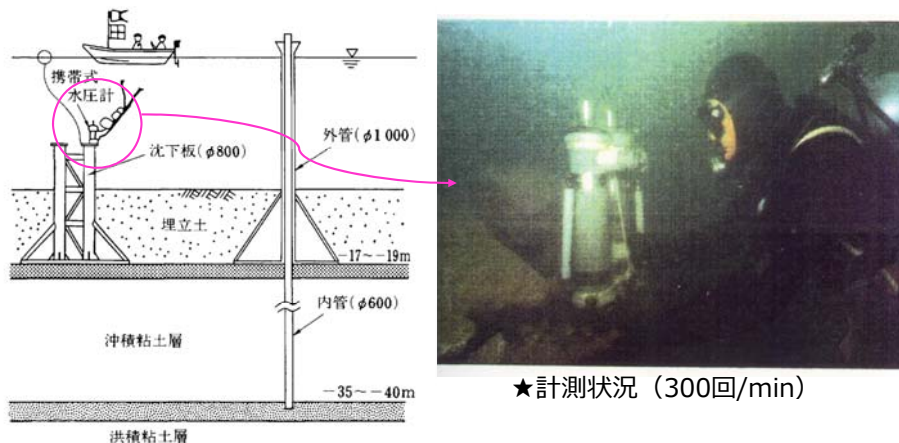


埋立調査工区と沈下板の位置 (1期)

(3) 関西新空港(I 期)での計器埋設・動態観測

71

1) CB沈下板の事例 (沈下計測とボーリング孔併用)



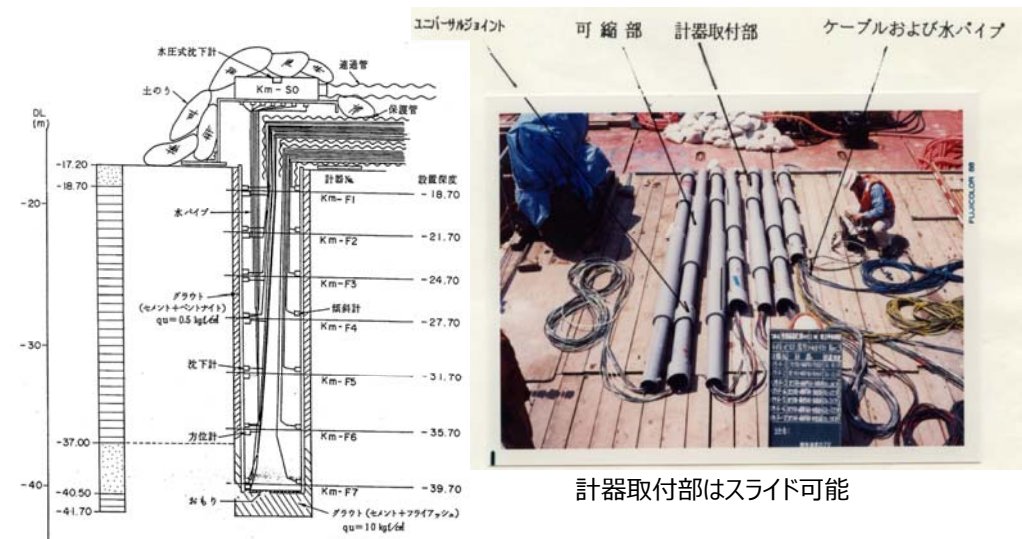
★計測状況 (300回/min)

- ★ 間隙水圧計を利用し水位差を用いたダイバーによる沈下計測
- ★ 基準になる水面標高は、空港島沖合400mに設置された中央観測局で絶えずモニターされ、そのデータによってそのつど補正。
- ★ 沈下板の蓋を開けてボーリングし、サンドマット下位の深度を把握

(3) 関西新空港(I 期)での計器埋設・動態観測

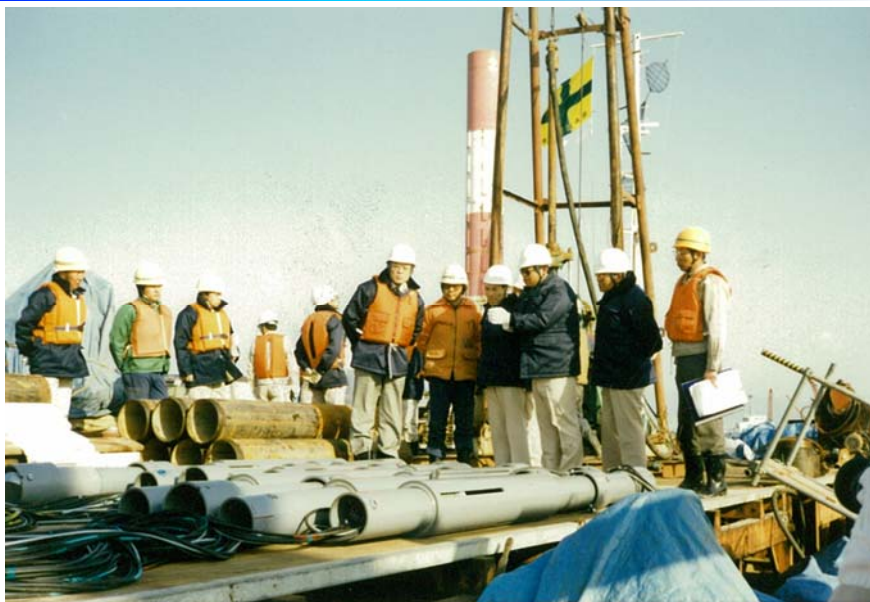
72

2) 多段式傾斜計 (水平変位計 (X,Y) + 沈下計+方位計)



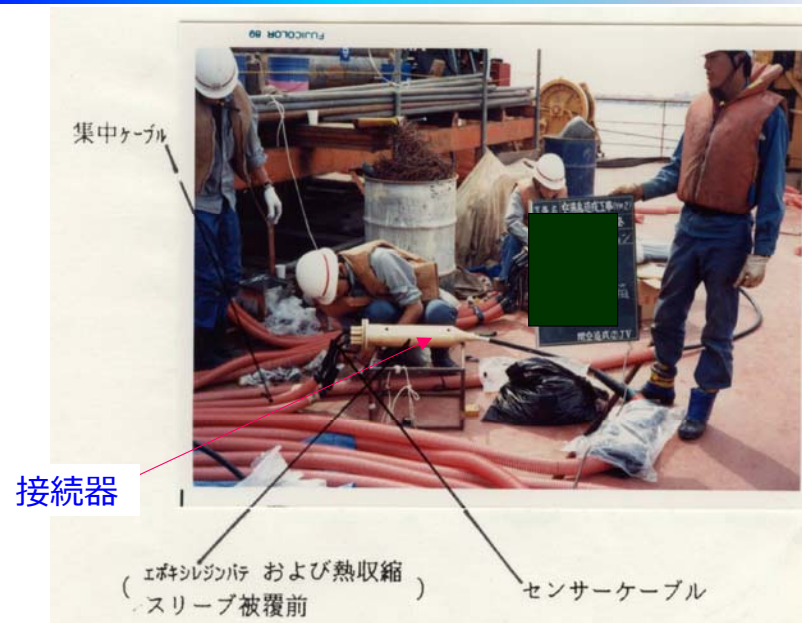
計器取付部はスライド可能

2) 多段式傾斜計 (水平変位計 (X,Y) + 沈下計+方位計)



関西空港：竹内社長（当時）の立会

3) 分岐接続器 (集中ケーブル化)

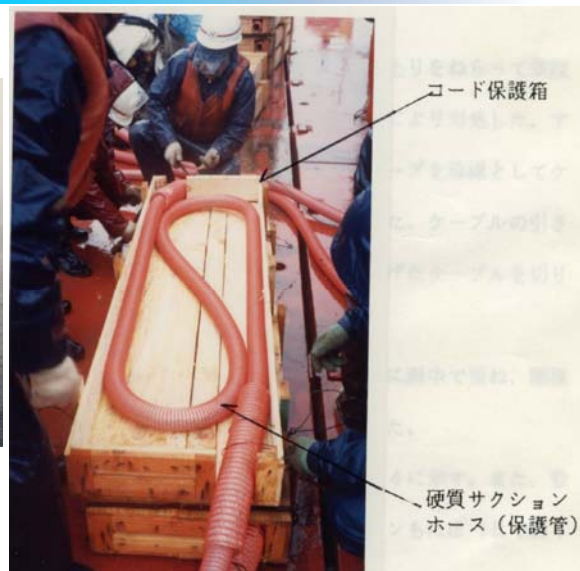


3) 集中ケーブル化の埋設



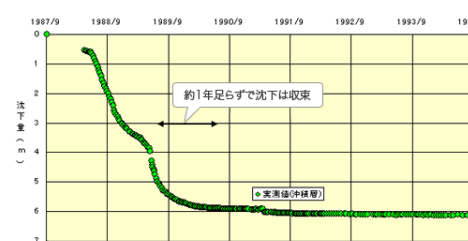
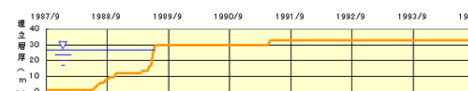
発泡スチロールを付けたケーブル

計測槽



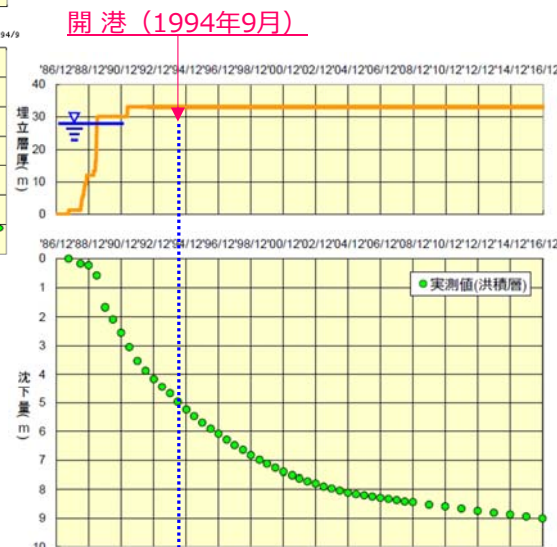
大変形に追従させるケーブル保護

4) 計測結果 (HP) 開港 (1994年9月)



(沖積層の沈下→開港時収束)

★最近では、 $\Delta S \leq$ 年間10cm
(洪積層と一口にいても厚さは400m)

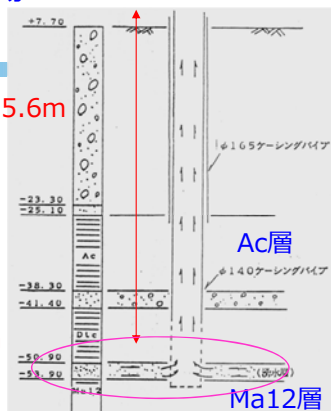


5) 追加★過剰間隙水圧の実態★



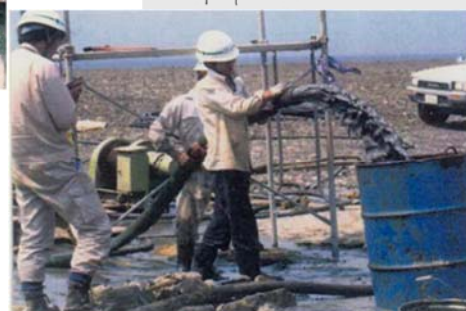
埋土厚H=15.6m

GL-58.6m



(洪積粘土Ma12上位の砂層)

- ・CDL-54.5m付近まで掘進
- ・CDL-50.9~53.9mの洪積砂層の被圧水
- ・湧水量: $Q=500\sim1000$ ㍒/min
- ・2週間程度流出させ、湧水量は100~200㍒/min程度に減少



6. 新しい調査技術の適用

1) 海底着座式三成分コーンとサンプリング (※当時珍しい調査技術でした)



① 台船上で組立→つり上げ

② 海中に入れる前に、
ウォータージェット噴出

③ 水圧サンプラーへの加圧
(→サンプリング中)

(海底着座後、ボーリング掘削も可能でした → 今は?)

6. 新しい調査技術の適用

1) 海底着座式三成分コーンとサンプリング



● 10tトラックで移送



● 起重機船にて吊上



● 調査地点に設置



● 護岸にて組立



● 船上でコントロール

6. 新しい調査技術の適用

2) ダイラトメーター (※当時珍しい調査技術)

ダイラトメータ挿入機=ダッチコーン
(北海道江別市)



(測定器)

2) ダイラトメーター

(岩崎・亀井：フラット・ダイラトメーター試験による砂質土のせん断抵抗角の評価, 1994.9)

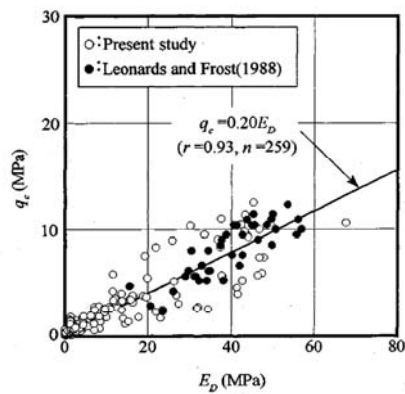


Fig.5 Relationship between cone resistance q_c and DMT modulus E_D

$q_c = 0.20 E_D$ (相関係数 $r = 0.93$)

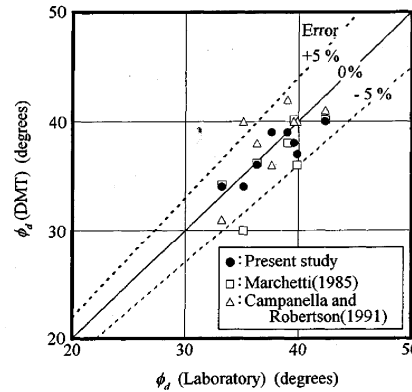


Fig.7 Relationship between drained angle of shear resistance ϕ_d obtained by DMT and that by triaxial compression test under drained condition

(対象：国内の沖積砂質土)
・DMTによる推定の ϕ と三軸(CD)試験の ϕ
・比較的良好一致する

3) セルフボーリングプレッシャメータ (北海道・江別)

静止土圧係数 K_0 の推定 (ダイラトメータより少し大きめの K_0 値が得られた)

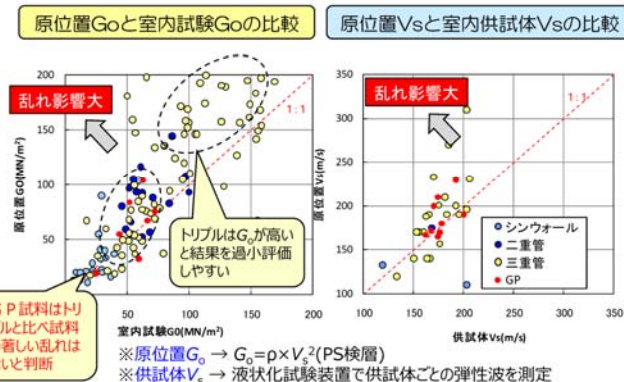


★他にも各種の調査方法がありますが、時間の関係により、ここで終了とします★

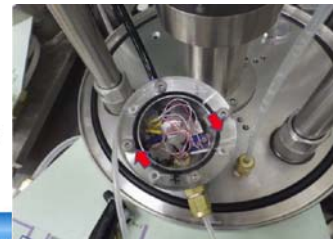
6. 新しい調査技術の適用 (当組合の特徴的な試験機)

★三軸セルの供試体の V_p , V_s 測定装置★

せん断剛性率 G_0 による品質評価例



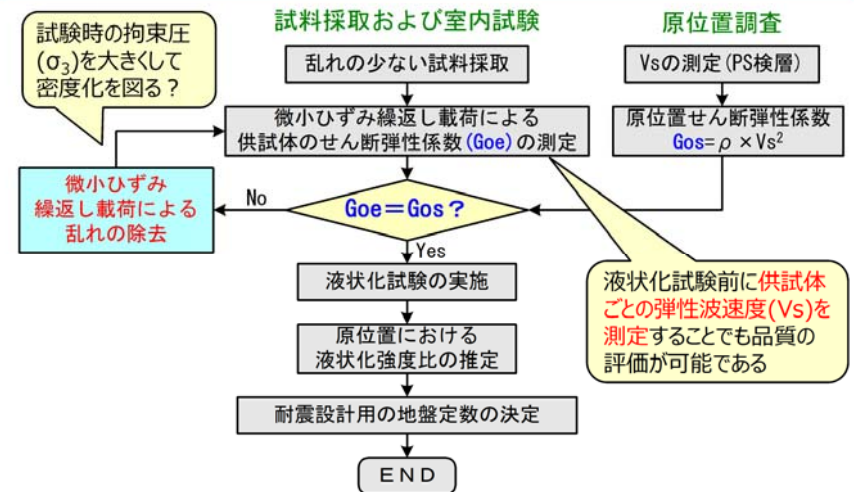
供試体を三軸セルにセット



上側の発信器の内部

●当組合の特徴的な試験機

品質評価に関する最近の動向



(引用元：萩原協仁さん資料)

★まとめ -これからを担う皆さまへ- 八田與一技師の紹介

- ◆ 八田與一：1886年、金沢市生まれ。東京帝国大学土木工学を卒業後、24歳(1910年)で、台湾総督府内務局土木課の技手として勤務開始。
- ◆ 当初は衛生工事を担当していたが、28歳からは水利事業を担当。設計工事の責任者として桃園の水利事業で、第一人者としての技師として承認された。
- ◆ 当時、東洋一といわれた烏山頭ダムと16,000kmにおよぶ灌漑用水路(34歳となった1920年着工で10年を要した大規模土木事業)の建設にあたり、人情味のある現場責任者として農民に慕われた。今でも、5月8日には墓前祭が開催されています。



- ◆ 大志を抱いて、我が国の社会資本整備に貢献されることを祈念しています。

(おわりに)

- ① 地盤調査・試験は、あらゆる構造物の建設にとって欠かすことのできない役割
- ② 幸いに関連しました多くの地盤調査は、現在ではランドマークとなっています。これらの構造物が、供用され、社会の発展に寄与していることが、地盤調査の社会貢献の証と考えます。
- ③ 今後、さらに機能性に優れた構造物を建設していくために、多くの若い会員が、各種の難問に挑戦し、従来よりも効率的な地盤調査方法を開発し、設計に適用していけることを希望します。
- ④ 実務を担う技術者の方へ
自己の成長のために、師匠を3人程度有してほしい。
★小職の場合：基礎地盤C:森田悠紀雄さん
鈴木一正 さん
能戸 仟 さん
- ⑤ 災害が頻繁に発生しています。私達も「坂の上の雲」の時代の情熱を有して、社会に貢献していきましょう。

貴重な時間をいただくとともに、ご清聴ありがとうございました。



(関西空港 I 期調査時)