

第4回

ライフライン工学 新若戸道路 ケーソン基礎

廣岡 明彦

ahirooka@civil.kyutech.ac.jp

<http://geo.civil.kyutech.ac.jp/>

この映画を見たら

山猫 (1963) IL GATTOPARDO · THE LEOPARD

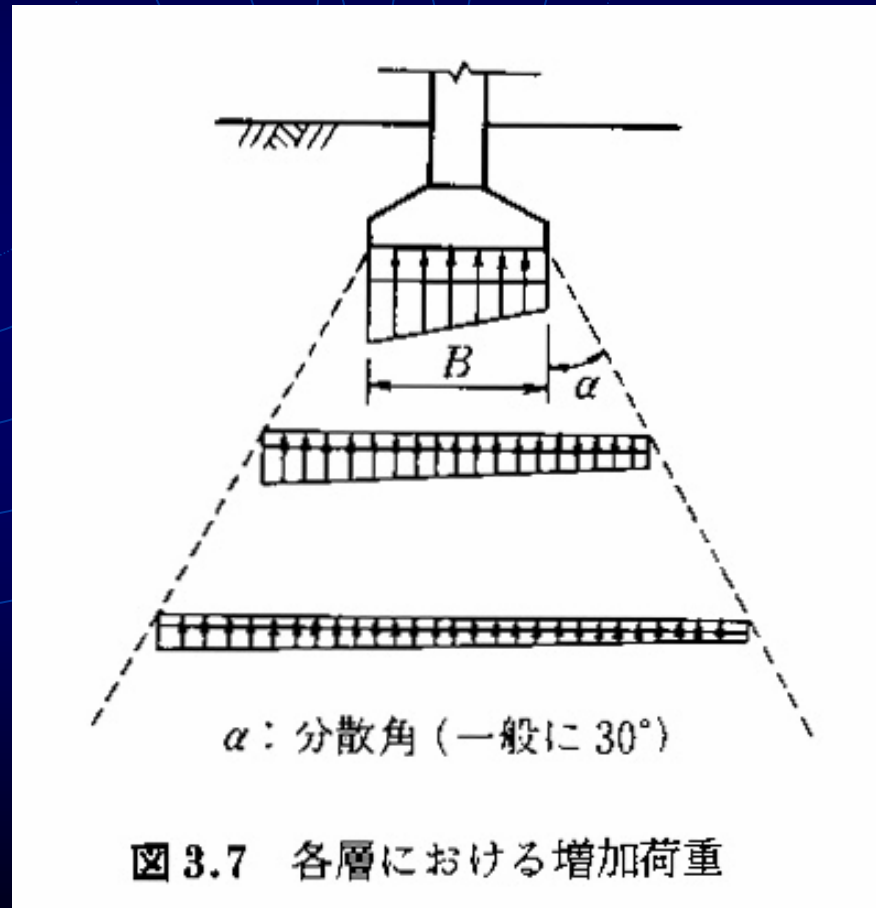
- ルキノ・ビスコンティ監督
- バート・ランカスター
- アラン・ドロン

19世紀後半、イタリア統一戦争の時代、ブルジョワジーの台頭とともに、山猫の紋章で300年間シチリアに君臨してきたサリーナ公爵家は没落を迎える。舞踏会の夜、公爵は村長の娘と踊りながら、旧秩序の崩壊と自分自身の終焉を感じとる。ランペドゥーザの『山猫』に原作を得て新旧2つの時代を壮麗に描く叙事詩。

巨匠ビスコンティが落ち着きのある手慣れた筆致で、移りゆく時代を理解しながらも受け入れる事の出来ない封建領主の心情を見事に描ききったさすがの一本です。ヘルムート・バーガーは出ていませんが、アラン・ドロンもクラウディア・カルディナーレもとても綺麗だし、バート・ランカスターの渋く、抑えた演技は当然の如く絶品です。私としてはビスコンティを初めて見るなら、むしろこれを薦めたいですね。それから家族の肖像を十分に堪能していただいて、次に地獄ではまって下さい。



- Terzaghiの一次元圧密計算 ?
- 傾斜荷重の考え方



水平支持力

$$R_a = \frac{(R_b + R_p)}{F_s}$$

R_a : 直接基礎の許容水平支持力

R_b : 基礎底面の極限水平支持力

⇒ せん断抵抗

R_p : 基礎前面の極限水平支持力

⇒ 受働抵抗

新若戸道路



<http://www.kitaqport.go.jp/project/tonneru/jigyuu/middle.html>

事業の概要



- 響灘地区大水深コンテナターミナル整備
→交通量の増大
- 響灘地区から戸畑・小倉方面への交通の円滑化
- 新たに洞海湾を横断する臨港道路

新若戸道路技術検討委員会体制

新若戸道路技術検討委員会

技術検討委員会

構造技術検討会
詳細設計に関する課題

コンクリート充填性検討会
充填コンクリートに関する課題

施工技術検討会
施工に関する課題

- 新若戸道路は、響灘地区大水深コンテナターミナル整備に伴い、響灘地区から戸畑・小倉方面への交通の円滑化のために、新たに洞海湾を横断する臨港道路として計画されています。
- この道路の施工は、陸上トンネル施工・沈埋函製作・海上施工と多岐に亘る工事により構成されており、コスト縮減・整備計画遂行・安全施工・周辺環境への影響配慮・リサイクル推進等の点から施工方法の検討を行う必要があります。
- そこで本検討会はこれらの検討課題を速やかに解決していくため、専門家の立場から助言・指導を頂くことを目的として設置するものであります。

事業の狙い

本道路の整備をすすめることで、国際物流拠点となる響灘地区が高規格道路と結ばれ、背後圏との円滑な輸送の確保や背後圏の拡大が可能となり、響灘大水深コンテナターミナルの機能の充実はもとより、物流の高速性、安定性が図られることとなる。

また、運輸省と建設省が連携し、港湾や空港、道路ネットワーク、広域物流拠点等の国際交流基盤の総合的な施策、事業の効率的な推進を図る国際交流インフラ推進事業にも選定されている。

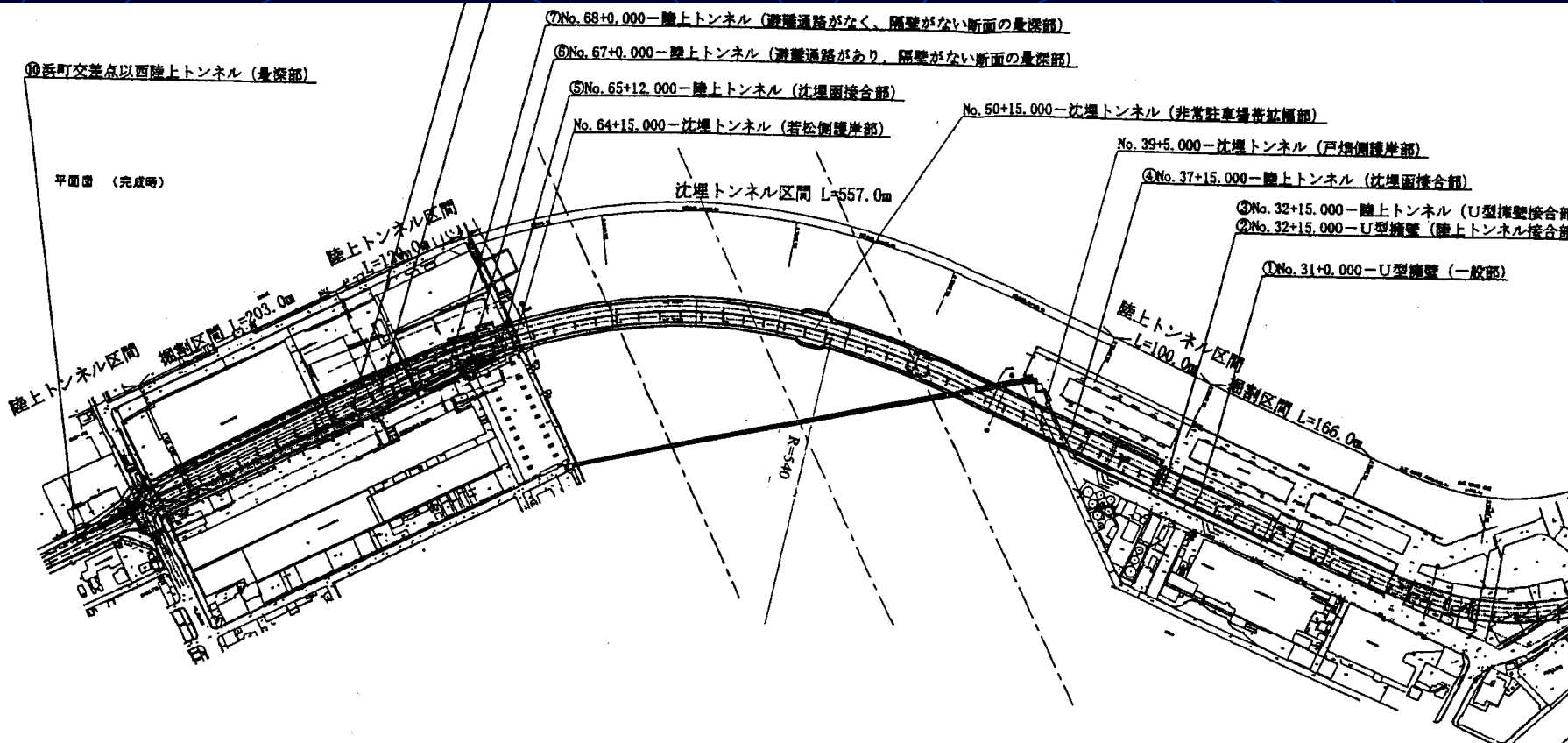
事業内容

| | |
|------------|---------|
| 道路構造基準 | 第2種2級 |
| 設計速度(km/h) | 60 |
| 設計交通量(台/日) | 41,000 |
| 車線数 | 往復分離2車線 |
| 1車線の幅員(m) | 3.25 |
| 最大縦断勾配(%) | 5.0 |
| 建築限界高さ(m) | 4.7 |

第2種:都市部の高速自動車国道及び自動車専用道路

第2級:大都市の都心部にある高速自動車国道以外の道路

新若戸道路平面図

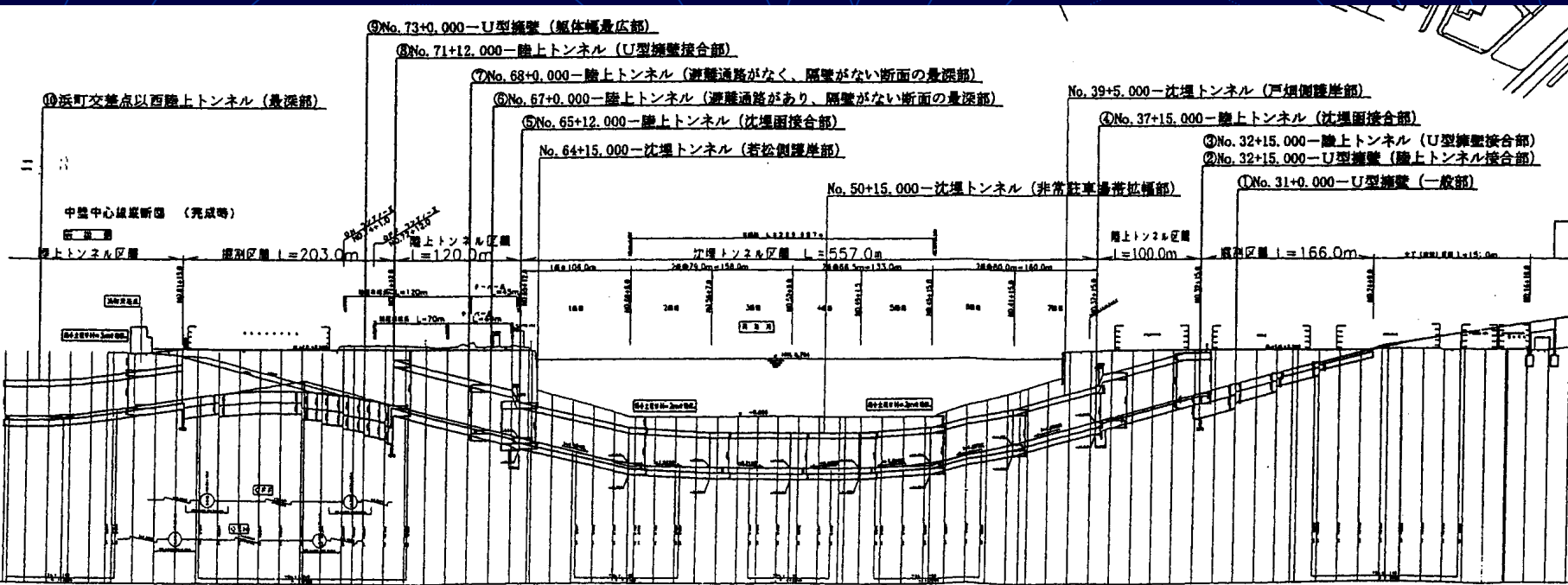


掘削区間 203m
陸上トンネル 100m

陸上トンネル 120m
掘削区間 166m

沈埋トンネル 557m

新若戸道路断面図



最深部 約20m

掘割区間 203m

陸上トンネル 100m

陸上トンネル 120m

掘割区間 166m

沈埋トンネル 557m

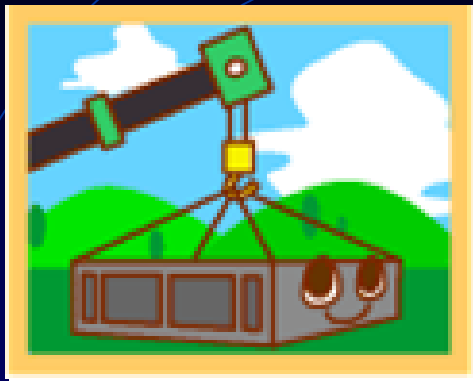
沈埋トンネル工法について

沈埋トンネルは、トンネルを複数に分割した沈埋函を陸上で製作し、海底で接合することによってトンネルを完成させる工法。

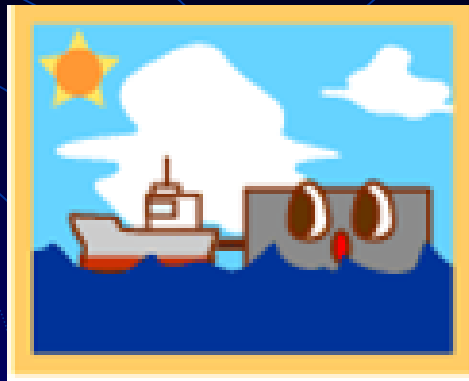
その歴史は古く、1893～1894年にボストン港内の下水道敷設工事で始めて実施。我が国では1935～1944年に初めての沈埋トンネルとして大阪安治川河底トンネルが築造される。

その後、沈埋函継手部のゴムガスケット、過攪性継手などの採用、基部へのモルタル注入工法等の種々の技術開発が展開され、国内外で多数の沈埋トンネルが築造されている。

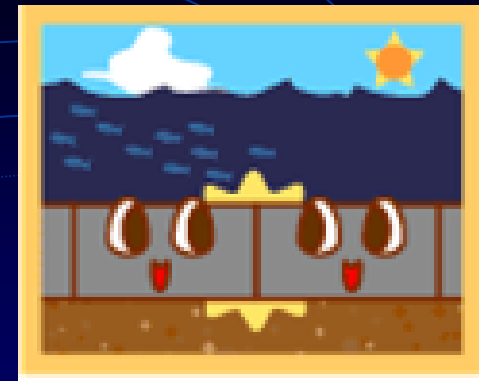
沈埋トンネルはわかり



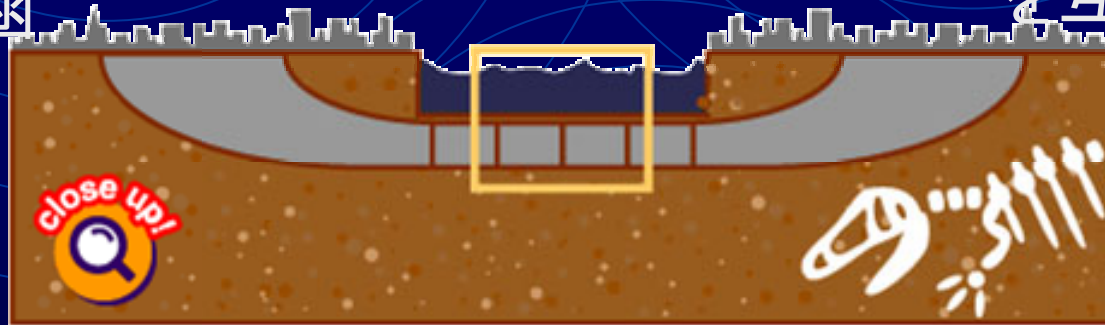
陸上またはドライドック等で作られた沈埋函



現場まで浮かして運搬



掘削した水底に沈設しこれらを互いに接合



あらかじめ水底を溝状に掘削しておき、陸上またはドライドック等で作られた沈埋函(トンネルエレメント)を現場まで浮かして運搬し、掘削した水底に沈設しこれらを互いに接合したのち、土砂を埋め戻して作る水底トンネル。

<http://www.kitaqport.go.jp/project/tour/wakato/index.html>

概要

- 水底を浚渫した後、碎石を敷均し、予め別な場所で製作した沈埋函を設置場所まで曳航して沈設し、沈埋函管の継手を接合して土砂を埋め戻してトンネルとする

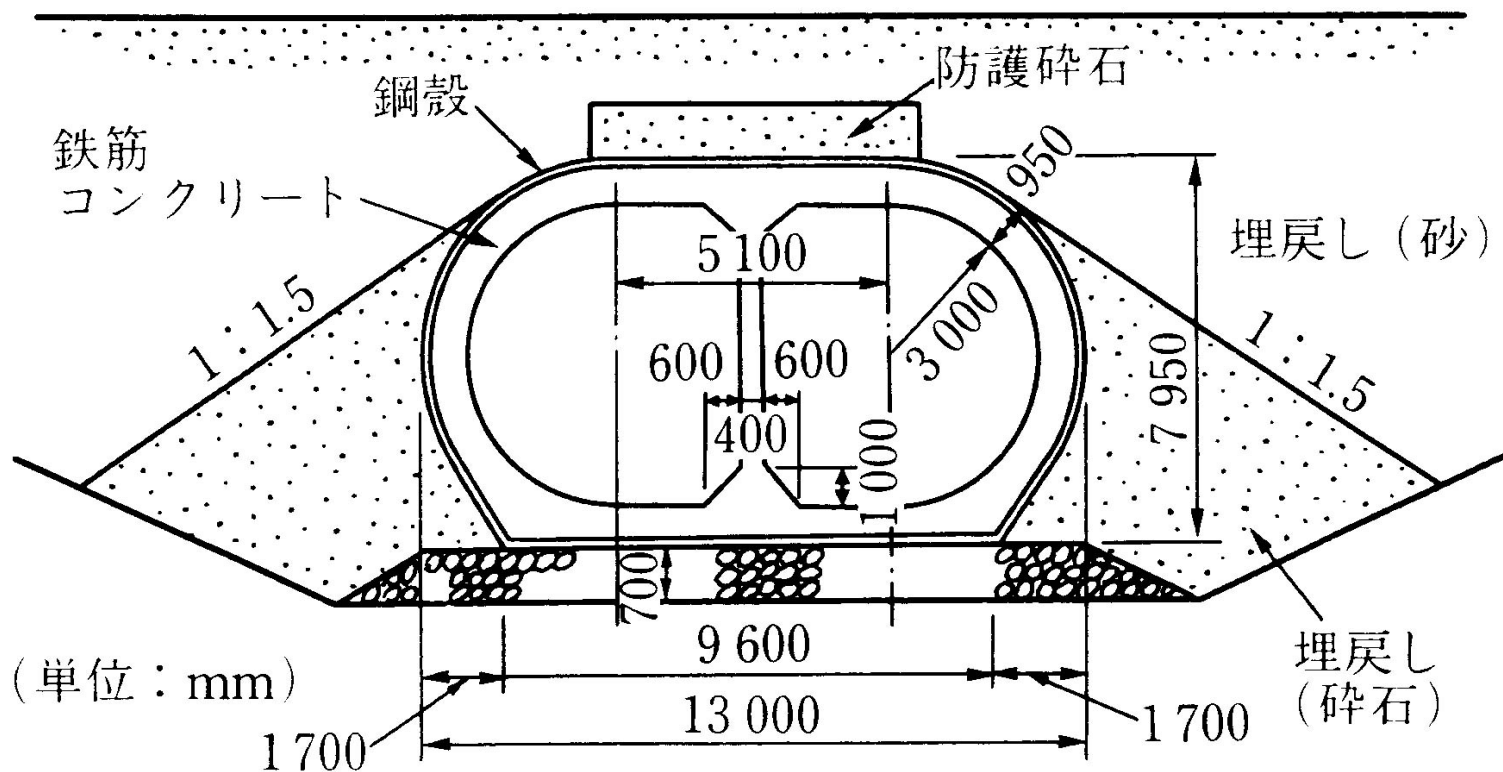
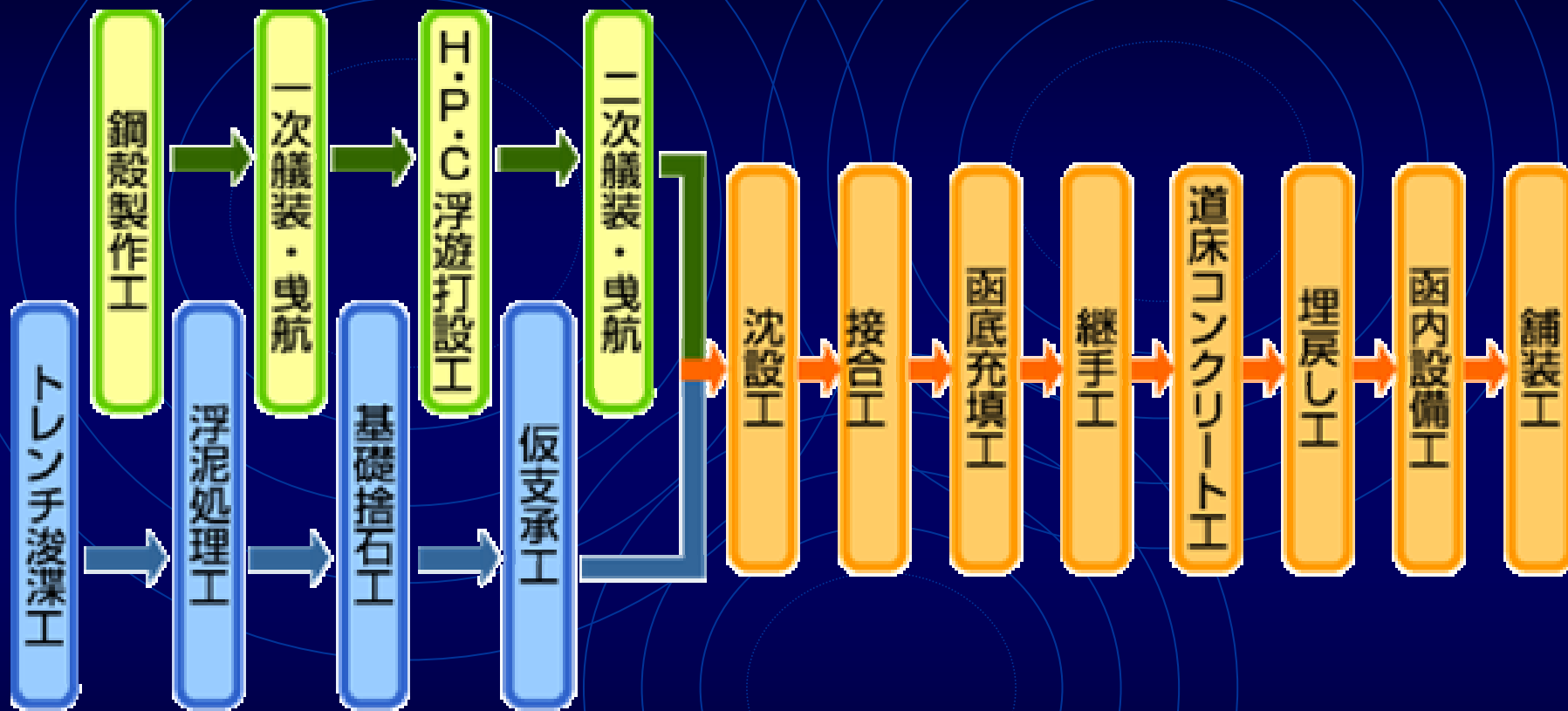


図 6.5 沈埋工法による施工例

沈埋トンネル施工フロー



沈埋トンネル工法の特長

沈埋トンネル，シールドトンネル，橋梁の3工法を比較すると，沈埋トンネルには以下のような利点がある．

線形の自由度が大きく，トンネルの総延長を短くすることが可能

沈埋トンネルは，一般的に土被り厚が1.5m～2.0m程度のため，陸域部の延長，アプローチ距離は短いので，トンネル総延長を短くすることが可能のみならず，その占有面積を小さくすることが可能．

→線形に対する自由度が大きい工法

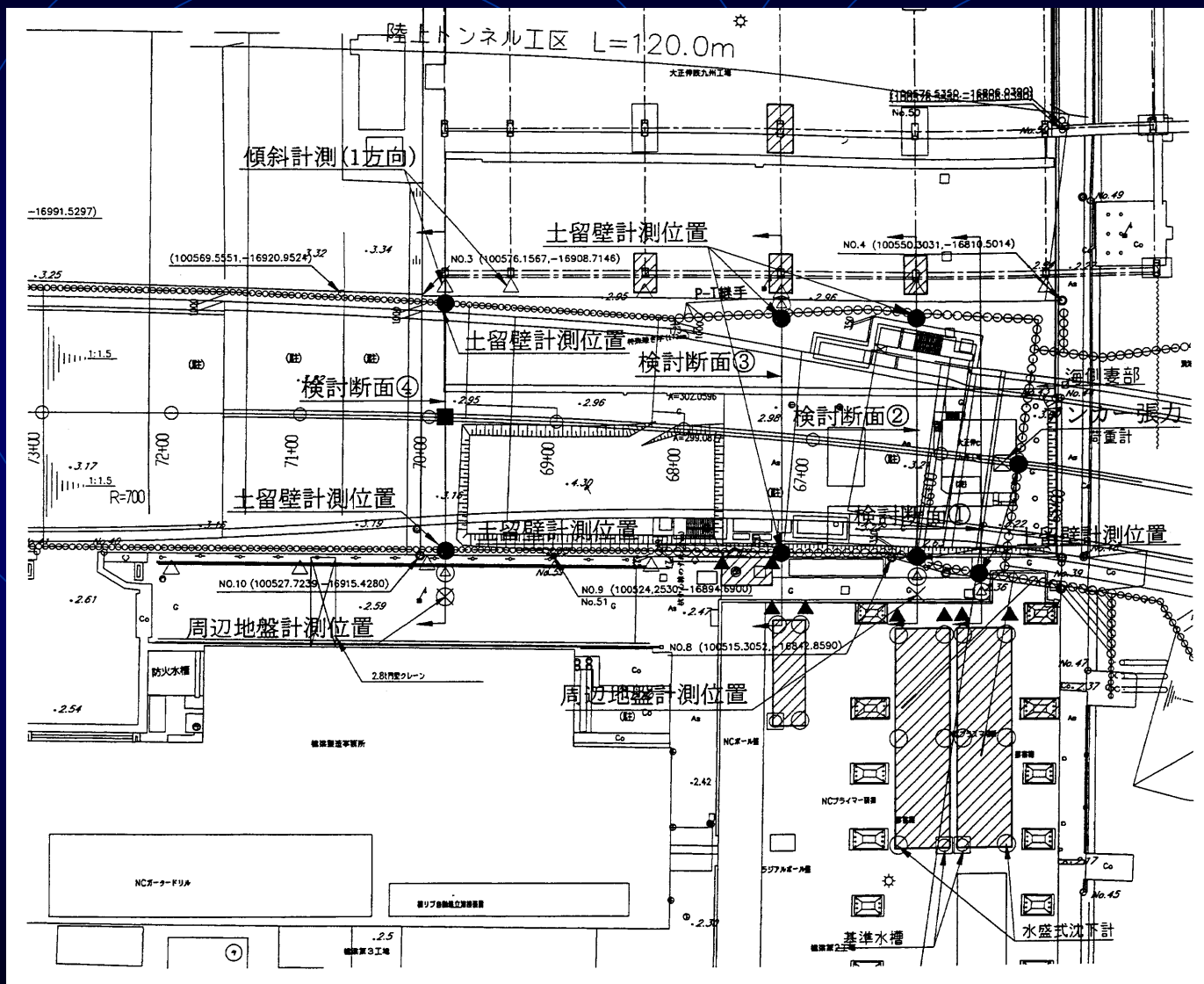
土質に対する適応性が高い

沈埋トンネルは、大きな地盤支持率をしないため、軟弱地盤に対する適応度が高い工法である

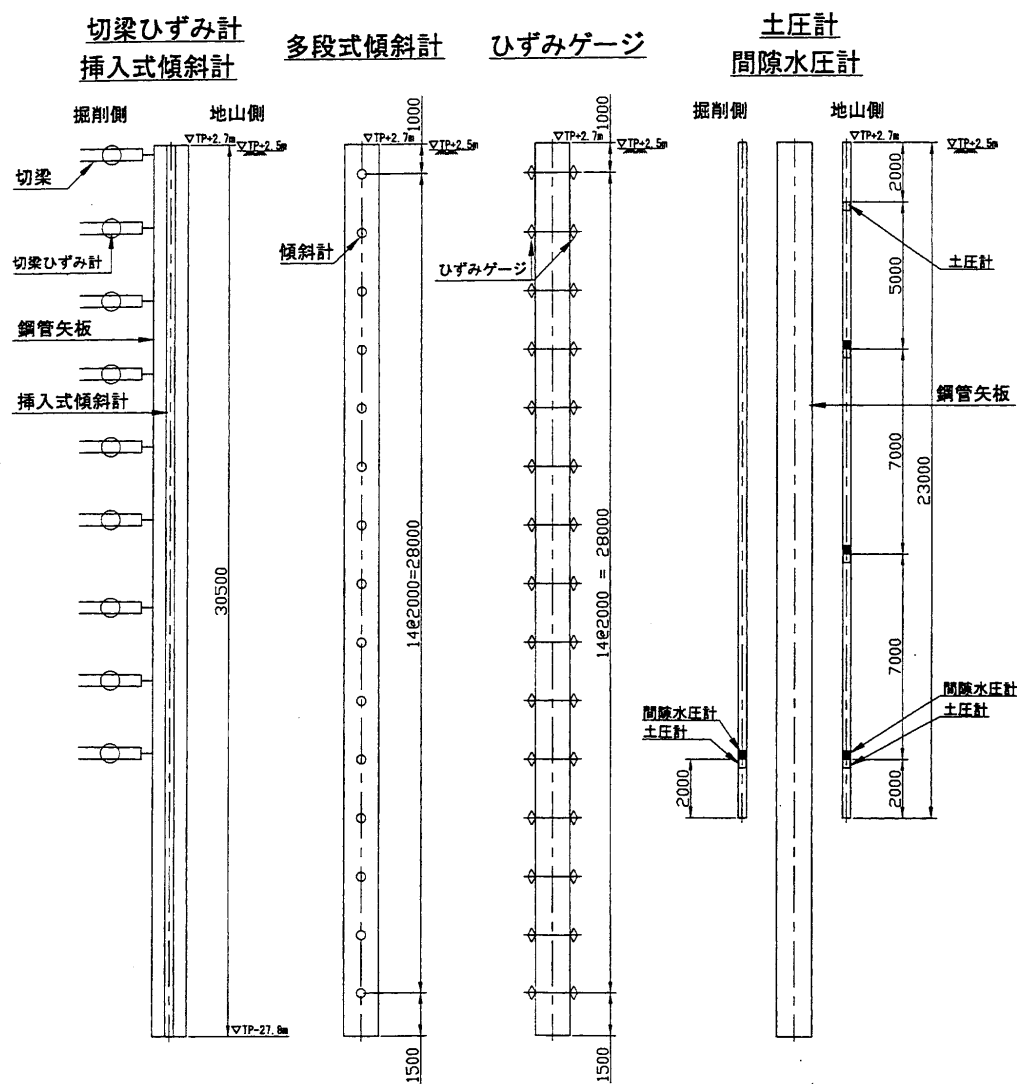
高品質で安全にトンネルの築造が可能

沈埋函は、プレハブ施工により製作されるので、シールドトンネルに比べ水密性が高く、大断面でしかも高品質のトンネルを短期間に構築することが可能。トンネルの構築の際には、気圧下での作業を必要とせず、水圧接合方式により安全かつ確実な施工が可能。

近接影響検討構造物位置図



計測断面の例(鋼管矢板)



計器配置図

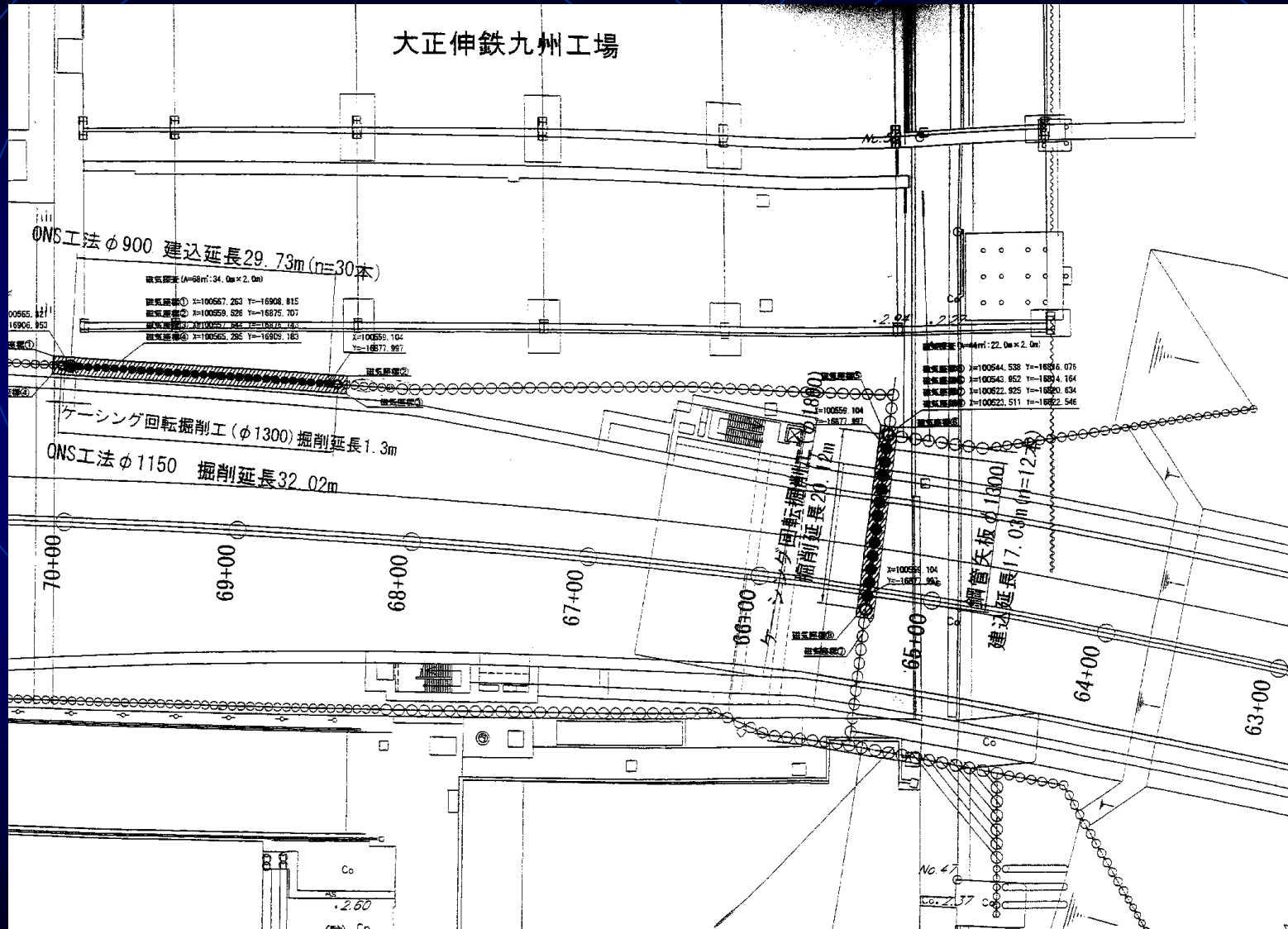
新若戸道路現場視察行程



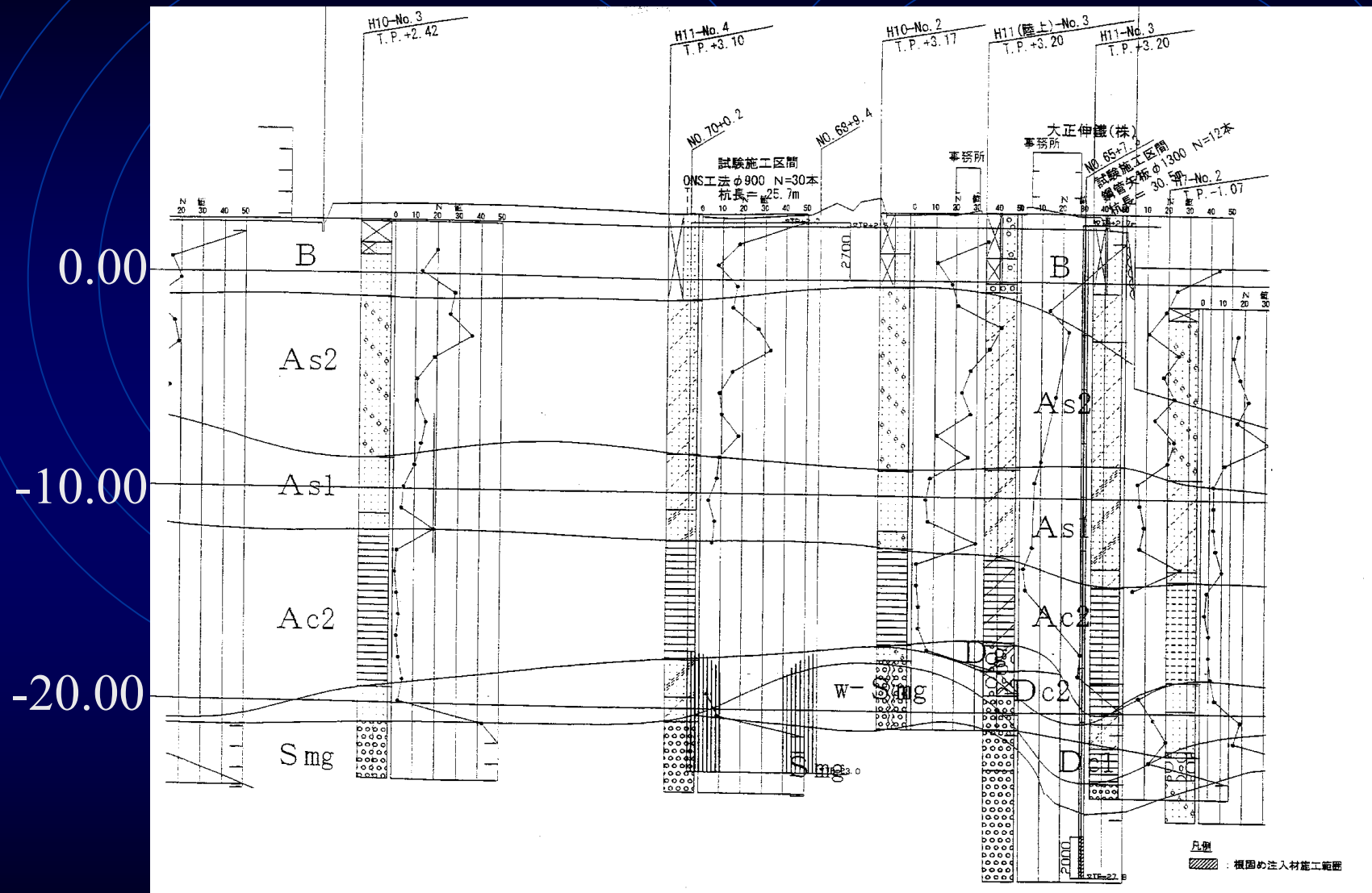
A:試験工事
B:響灘3号岸壁
C:川代ふ頭

工事名称:「新若戸道路陸上トンネル部土留杭打設試験工事(若松側)
発注者:国土交通省九州地方整備局 請負者:(株)間組

土留工施工平面図



土留工施工側面図



硬礫 (Smg層) のサンプル



砂岩のサンプル(-25m付近)



巨礫のサンプル(-27m付近)



ONS工法による単独施工を不可能にした原因

ケーシング回転 掘削機

ケーシングはその先端に
ビットを有しており、この機
械でケーシング自体を回転
させながら、深部まで圧入
する。

ハンマークラブで中掘り掘
削・排出するとともに、ケー
シングを継ぎ足して岩盤部
(支持層)まで到達する。



ハンマークラブ

ケーシング掘削回転
工法では、ケーシング
を押し込みながらハン
マークラブによって中
掘り掘削・排出を行う。



チゼル



ケーシング内に落下させ、
岩盤を破砕する。

ソイルモルタル製造プラント

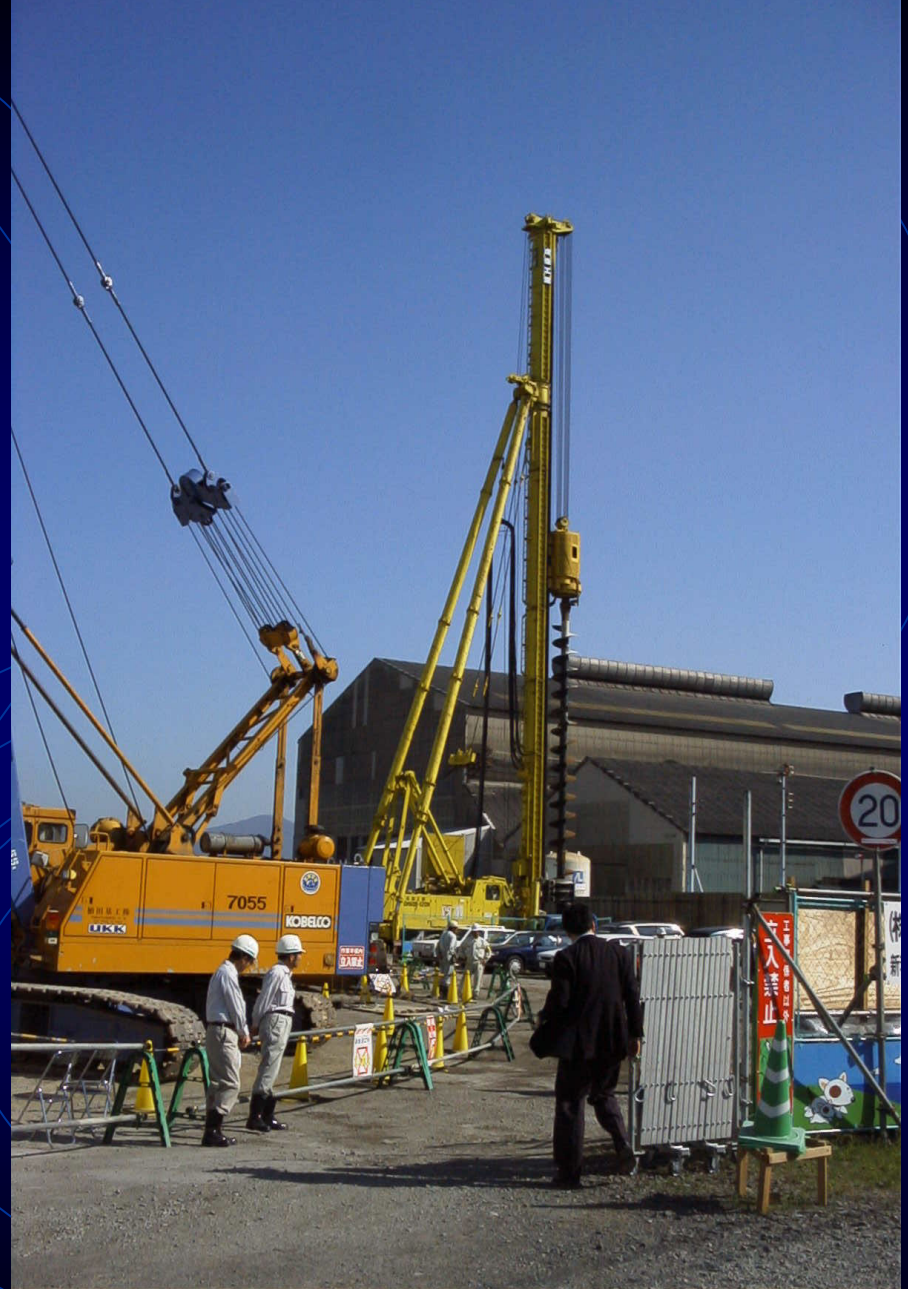
掘削が所定の深さの地盤に達した後，スライム処理を行いトレミー管を建て込み，ここで製造したソイルモルタルを打設しながらケーシングチューブを引き抜き置換杭を施工する。



ONS杭打機

三点支持杭打機

鋼管柱列掘削・杭建込工では、前施工で打設されたONS鋼管杭の継ぎ手をガイドとし、オーガーで先行削孔を実施し、同時にオーガーの掘進に伴いオーガーヘッド先端からセメントミルクを噴射する。これにより、土中に混合攪拌されたソイルモルタルの土留壁を構築し、オーガーを引き抜きクローラクレーンでONS鋼管杭の建込を行う。



ONS杭注入液 製造プラント



大正伸鉄工場 近傍での 掘削工の様子

掘削工・杭施工時の影響測定
振動・騒音



若松より戸畑方面を望む



響灘3号岸壁付近



響灘3号岸壁より若戸大橋(新 若戸道路予定地)を望む



戸畑(川代ふ頭)より 若松方面を望む



川代ふ頭近辺の様子



川代ふ頭近辺の様子



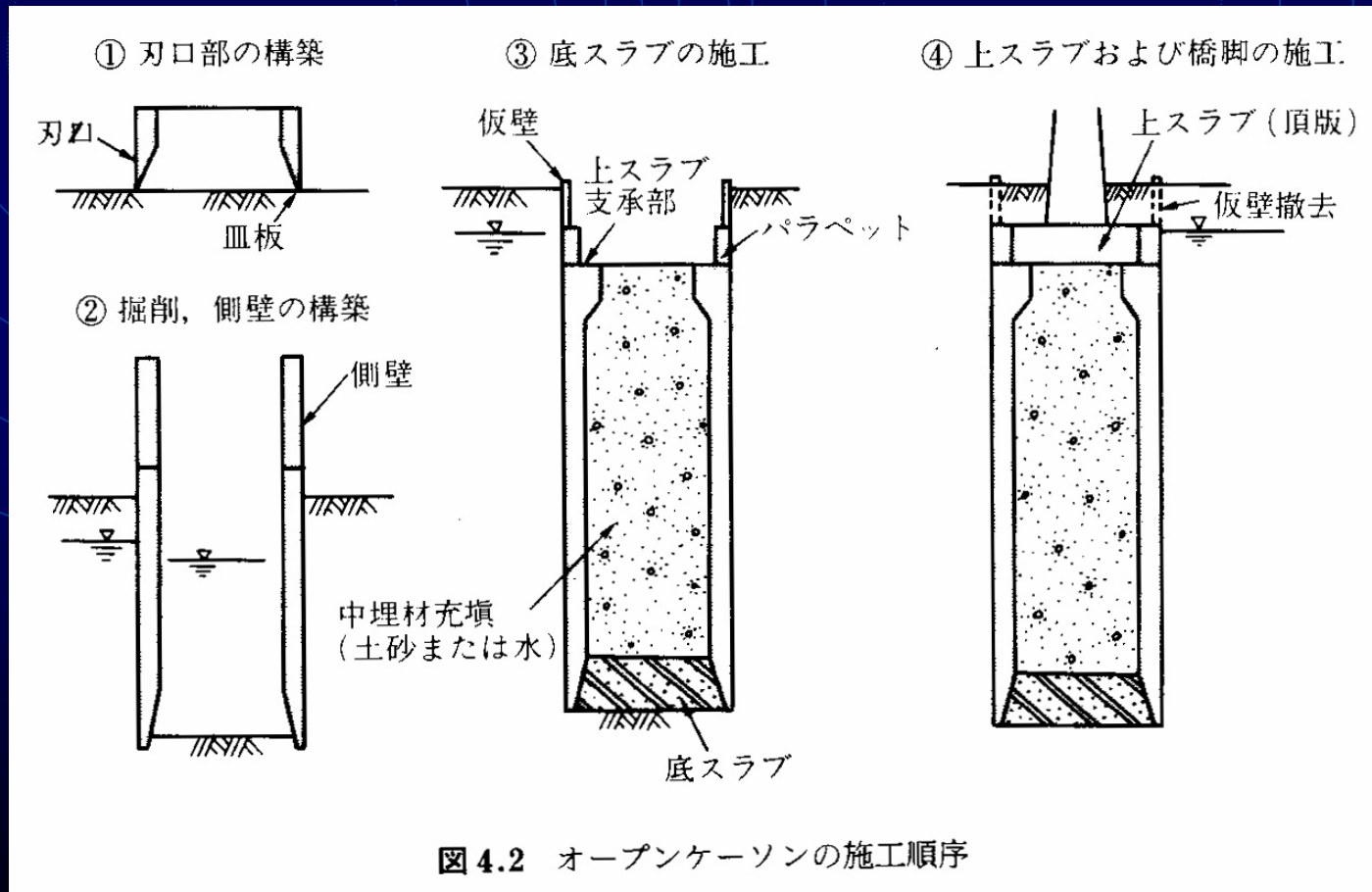
ケーソン基礎 (Text p.63～)

- ケーソン基礎の種類と施工法
- ケーソン基礎の設計法
- ケーソン基礎の許容支持力
- ケーソン基礎の変位・地盤反力
- 鋼管矢板基礎
- 連壁井筒基礎

ケーソン基礎の種類と施工法

- ケーソン基礎の種類
 - Caisson(ケーソン) ← フランス語のCaisse
～ 箱 あるいは 外枠
 - 地上で構築した箱または筒状の構造体を、内側を掘削しながら、所定の地層まで沈下させて基礎とするもの
 - オープンケーソンとニューマチックケーソンに大別される

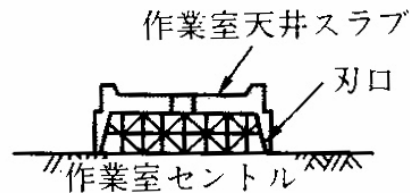
- オープンケーソン
 - 陸上ケーソン，吊込み式ケーソン
 - 水中掘削 ← ボイリング，ヒービングの誘発阻止



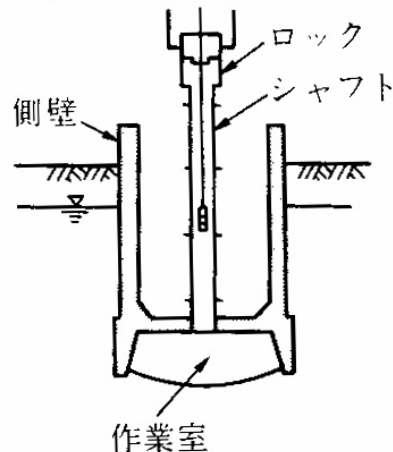
• ニューマチックケーソン

- 構造体下部に設けた掘削作業空間に圧縮空気を送って掘削面からの浸水ならびに土砂の流入を阻止しながら掘削

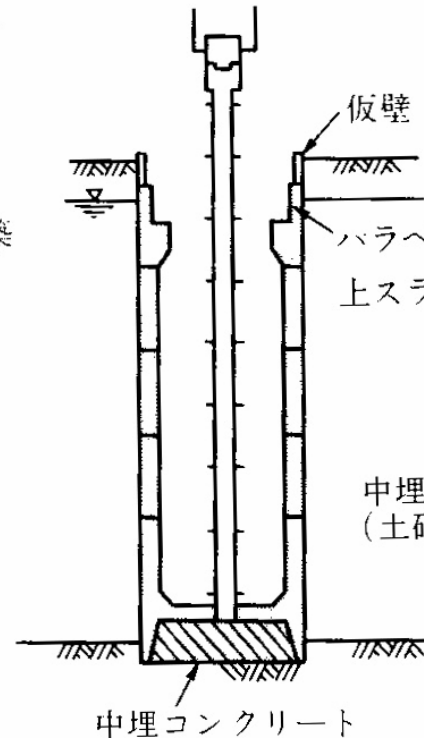
① 作業室構築



② 艀装および掘削、側壁の構築



③ 沈下完了、
中埋コンクリートの施工



④ 艀装解体、上スラブ
および橋脚の施工

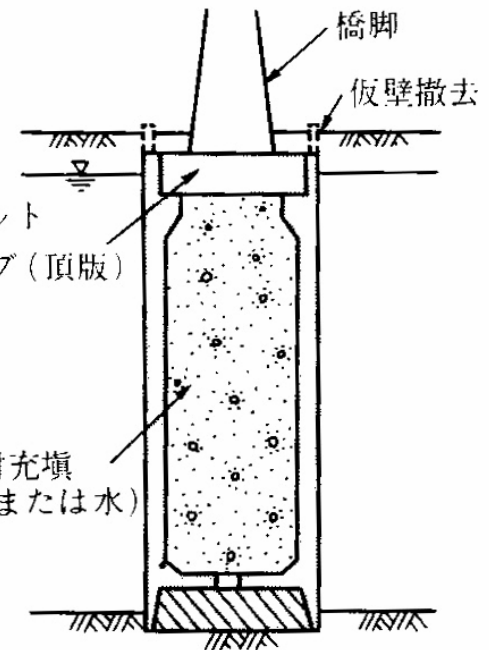


図 4.3 ニューマチックケーソンの施工順序

- 設置ケーソン
 - 陸上において製作したケーソンを設置し、内部にコンクリートを打設して基礎本体を構築.
 - 内部の掘削はしない.
- 特殊なケーソン基礎
 - PCウェル
 - 脚付きケーソン

ケーソン基礎の設計法

- 設計の考え方
 - ケーソンに作用する荷重に対して十分な支持力を有すること
 - 荷重によるケーソン基礎および上部構造物の変位がそれぞれ許容値以下であること
 - ケーソン基礎の各部材が所要の強度を有すること

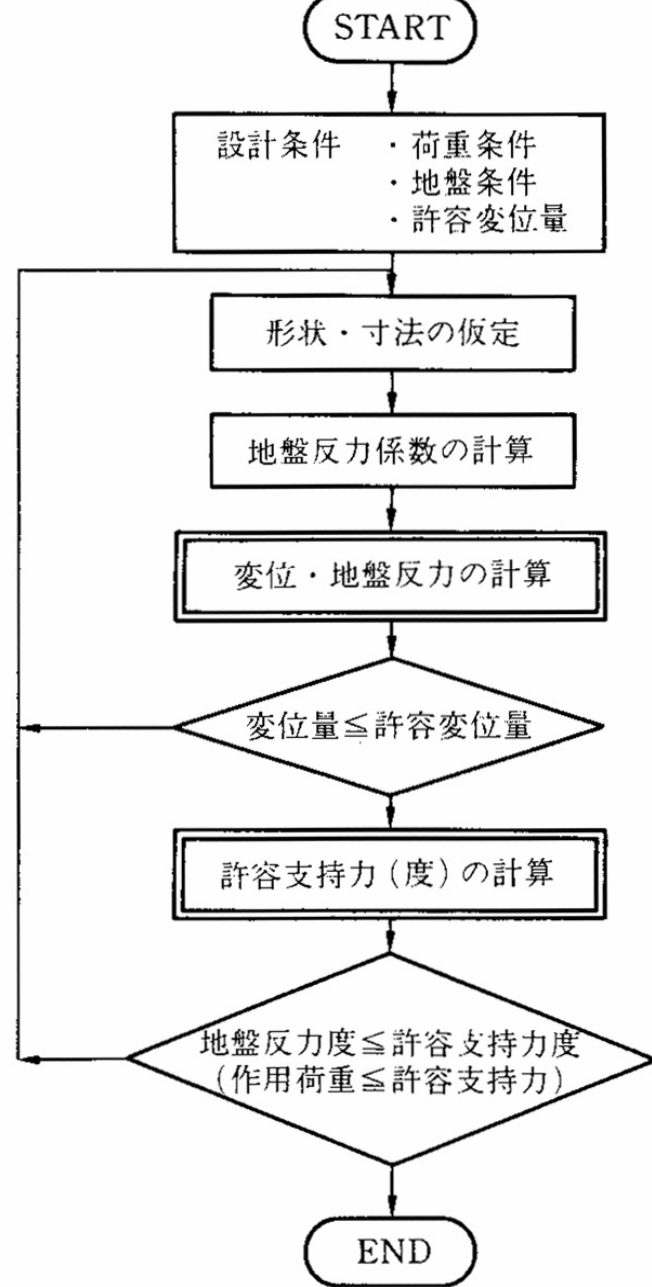


図 4.4 ケーソン基礎の安定計算の手順の例

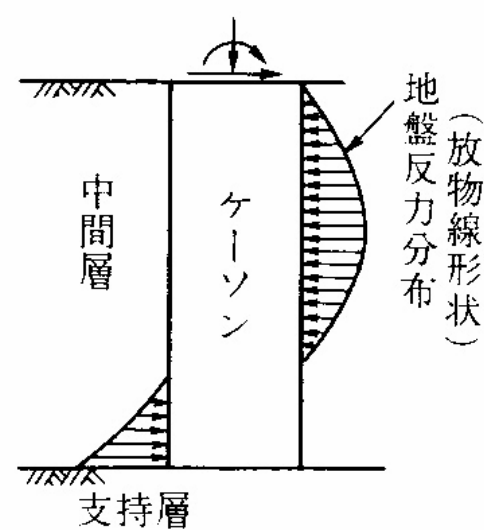


図 4.5 物部式による安定計算

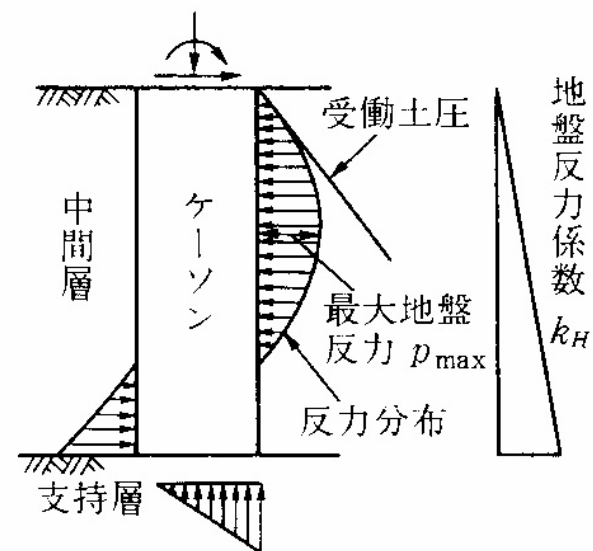


図 4.6 池原・横山式による安定計算

表 4.1 ケーソンの安定計算式の比較

| 計算方法 | ケーソン本体の剛性の仮定 | 作用外力に抵抗する要素 | | | | | 側面地盤の性質の仮定 |
|--------|--------------|-------------|----------------|----------------|-----------|-----------------|--------------------------------------|
| | | 側面地盤の抵抗土圧 | 側面地盤の水平方向の摩擦抵抗 | 側面地盤の鉛直方向の摩擦抵抗 | 底面地盤反力の偏心 | 底面地盤の水平方向のせん断抵抗 | |
| 物 部 | 剛 体 | ○ | — | — | — | — | 側面地盤の反力分布を放物線と仮定 |
| 酒 井 | 弾性体 | ○ | — | ○ | ○ | — | 側面地盤の反力分布を放物線と仮定 |
| 池原・横山 | 剛 体 | ○ | — | — | ○ | — | 三角形分布の地盤反力係数をもつ弾性体 |
| 後 藤 | 剛 体 | ○ | ○ | ○ | ○ | — | 三角形分布の地盤反力係数をもつ弾性体 |
| 白 石 | 剛 体 | ○ | — | ○ | ○ | ○ | 地表面から深さの γ 乗に比例する地盤反力係数をもつ弾性体 |
| 道路橋示方書 | 剛 体 | ○ | ○ | — | ○ | ○ | 多層地盤よりなる弾性体 |
| 国鉄設計標準 | 剛 体 | ○ | ○ | — | ○ | ○ | 多層地盤よりなる弾塑性体 |

- 支持地盤

- 施工に伴う地盤の乱れ

- ～ケーソン本体側面と地盤との摩擦や
付着による周面支持力に期待できない。

- 鉛直支持力 ～ 底面で支持

- ケーソン基礎本体の剛性・耐力 大

- ⇒ 基礎平面寸法の割に水平支持力 大

- ⇒ ケーソン基礎の支持地盤～良質な支持層

- 基礎底面支持層が十分な強さ・厚さを有しない場合

- 平面寸法の増大, 沈下の検討

- ケーソン基礎本体の設計

- 各部材の耐力の検討

- (側壁, 上スラブ, 上スラブ支承部, 刃口 etc)

- 供用中の荷重に対して

- 施工段階における各荷重状態に対して

- 完成後

- 鉛直方向

- ~ 曲げモーメントと軸力を受ける鉄筋コンクリート断面

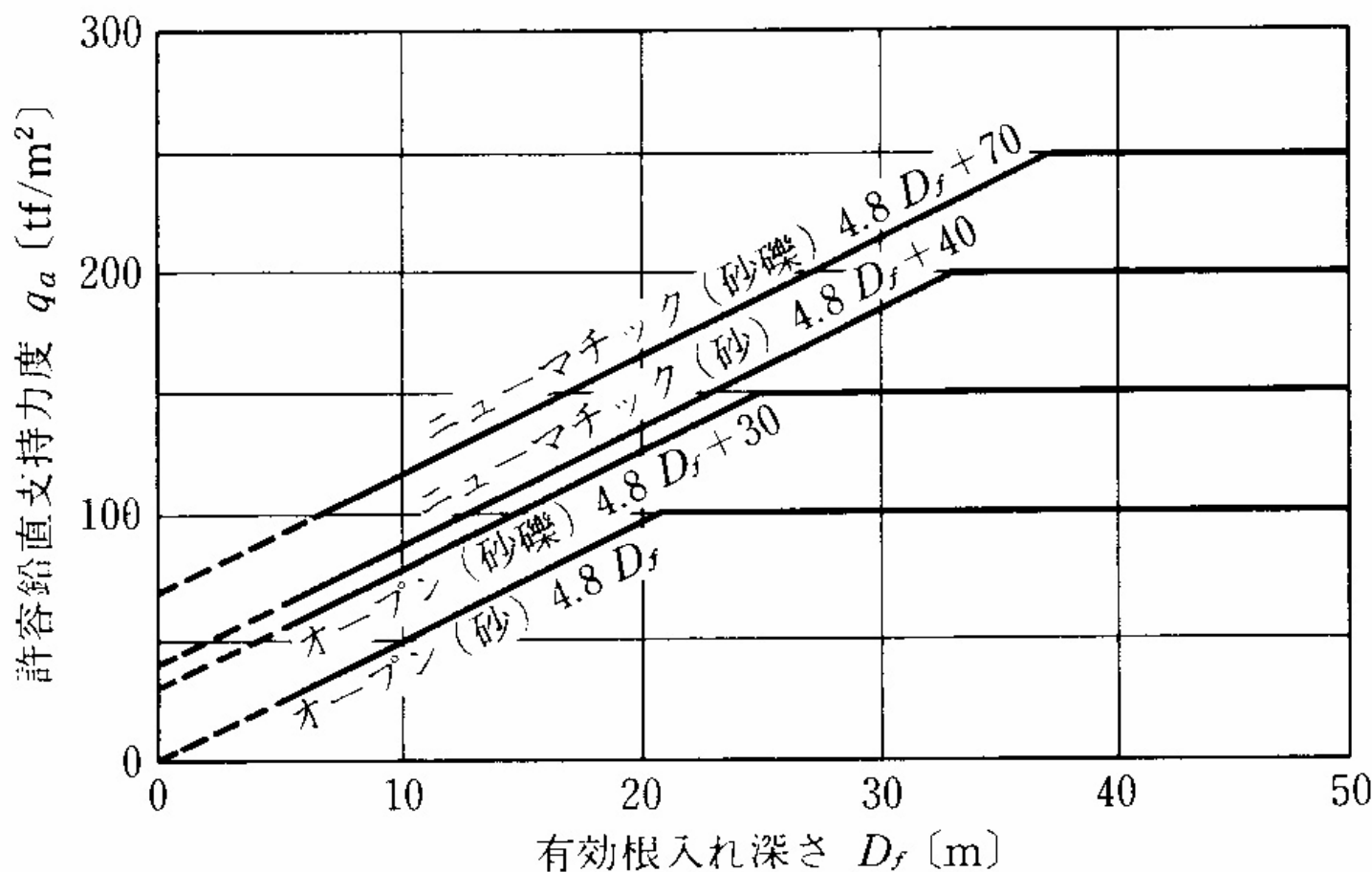
- 水平方向

- ~ 円環または函型ラーメン部材として断面力を算定

ケーソン基礎の許容支持力

- 許容鉛直支持力
 - 基礎周面の摩擦抵抗は設計上無視
 - 許容鉛直支持力
～(基礎底面の極限支持力)／(安全率)

$$q_d = \alpha c N_c + \frac{1}{2} \beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D_f N_q$$



注) 砂礫層と砂層の区分は綿密な土質調査結果に基づいて慎重に行うのがよい。また、礫混り砂層は砂層とみなすのが望ましい。

図 4.8 ケーソン基礎底面地盤の許容鉛直支持力度の上限値 (常時)

- 許容水平支持力
 - 許容水平支持力度
 - ～（着目点の受働土圧応力度）／（安全率）
 - 許容水平支持力度＞水平地盤反力度
- 許容せん断抵抗力
 - 許容せん断抵抗力
 - ～（せん断抵抗力）／（安全率）

$$H_u = c_B A' + V \tan \phi_B$$

ケーソン基礎の変位・地盤反力

- 地盤反力係数
 - 基礎が周辺の地盤バネによって支えられていると仮定
 - このバネの値を地盤反力係数という

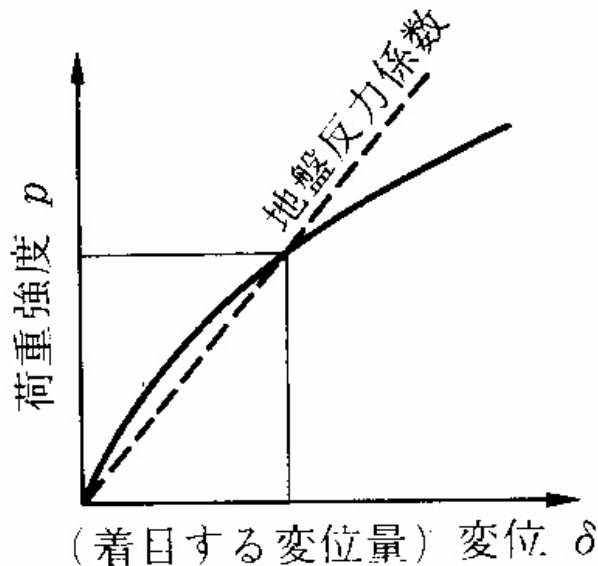


図 4.9 地盤反力係数

弾性論に基づく
Boussinesqの沈下量算定式

$$k = \frac{p}{\delta} = \frac{E}{(1 - \mu^2)BI_P}$$

- 設計における地盤反力係数(実験式)

- 鉛直方向地盤反力係数

$$k_V = k_{V0} \left(\frac{B_V}{30} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

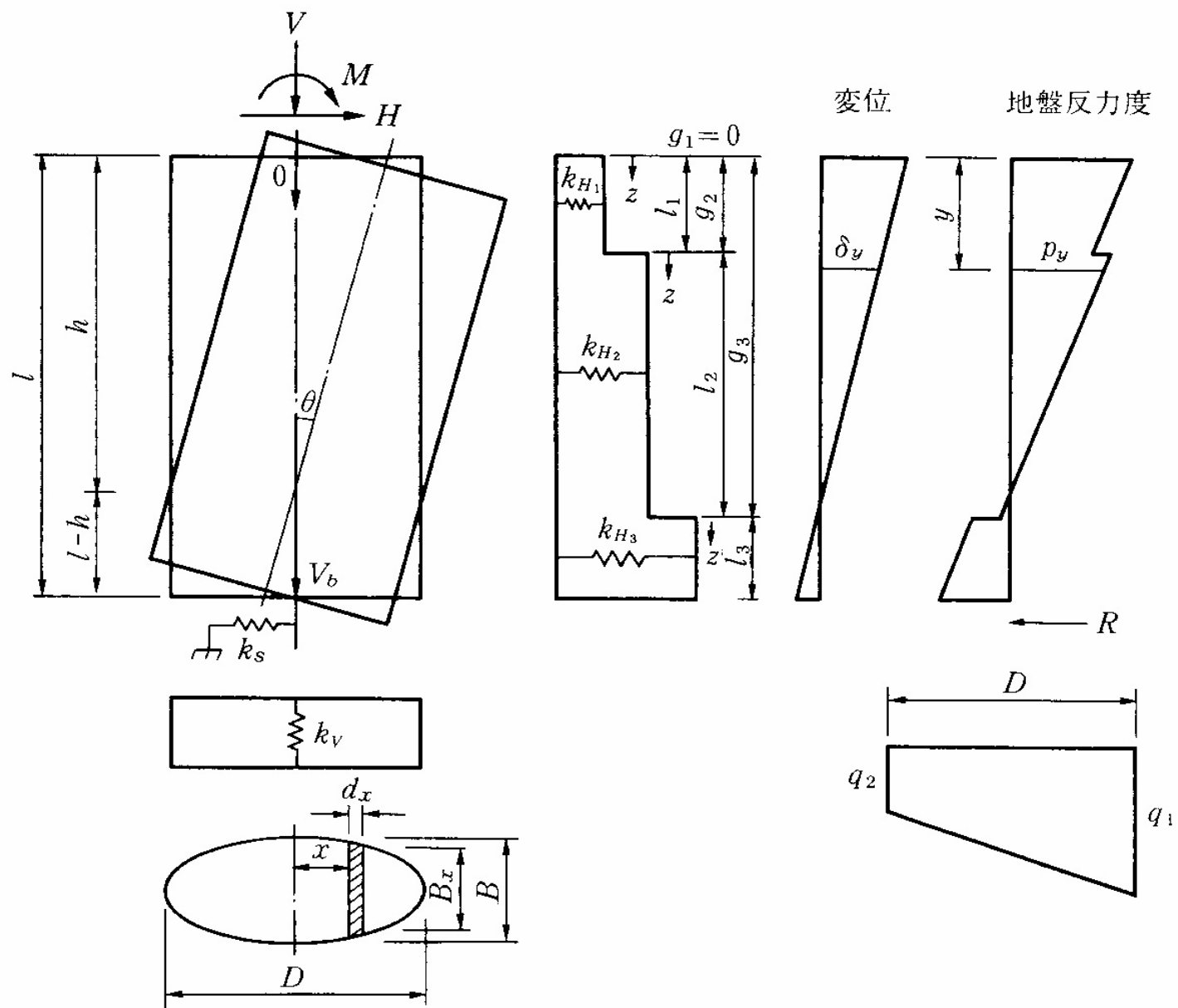
- 水平方向地盤反力係数

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

- せん断地盤反力係数

$$k_s = \lambda k_V$$

変位・地盤反力の計算



- 水平力の釣合い

$$H - \sum \int_0^{l_i} B \cdot k_{Hi} \cdot (h - g_i - z) \cdot \theta \cdot dz - A \cdot k_s \cdot \theta \cdot (h - l) = 0$$

- モーメントの釣合い

$$M + \sum \int_0^{l_i} B \cdot k_{Hi} \cdot (h - g_i - z) \cdot \theta \cdot (g_i + z) \cdot dz - \int_{-D/2}^{D/2} B_x \cdot \left(k_V \cdot x \cdot \theta + \frac{V_b}{A} \right) + A \cdot k_s \cdot \theta \cdot (h - l) = 0$$

- 基礎の水平変位量と水平反力度

$$\delta_y = (h - y) \cdot \theta$$

$$p_y = k_{Hi} \cdot \delta_y = k_{Hi} \cdot (h - y) \cdot \theta$$

- 基礎底面の鉛直地盤反力度とせん断反力

$$\left. \begin{matrix} q_1 \\ q_2 \end{matrix} \right\} = \frac{V_b}{A} \pm \frac{1}{2} D \cdot k_v \cdot \theta \quad (\geq 0)$$

$$R = k_s \cdot (h - y) \cdot \theta \cdot A$$

～地盤反力は通常引張を考えない

地盤反力係数は深さに比例して大きくなる3角形分布
水平地盤反力度の上限は受働土圧