

平成27年度 大阪府河川構造物等審議会  
第2回 大深度地下使用検討部会

**【構造物の技術的な検討について】**

# 4. 構造物の技術的な検討について

## 構造物の技術的な検討方針

寝屋川北部地下河川の構造物の実施設計においては、一般的なシールド工法による地下トンネルの設計施工に際して検討する事項等を踏まえ、以下のような項目について検討していきます。  
このうち、「シールドセグメントの耐力計算」については、大深度地下使用認可申請において必要である「安全の確保」「施設・工作物の耐力」に該当する項目であるため、先行して検討します。

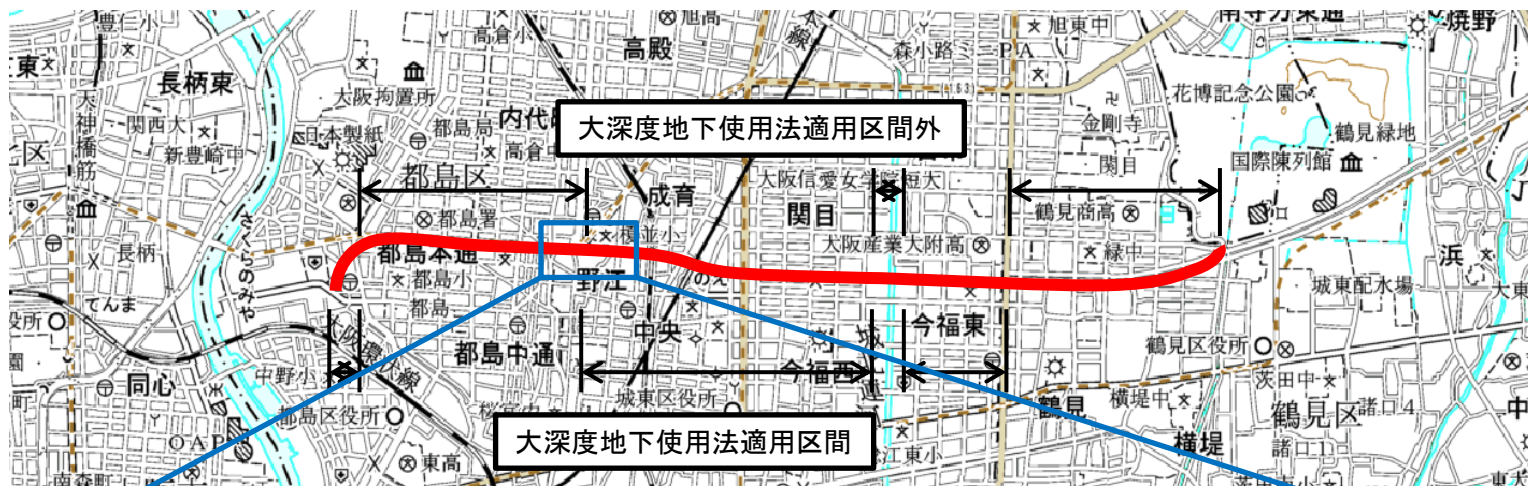
	項目	内容
1	管径変化部の施工方法の検討	通常深度部と大深度部の一連施工に関する技術的検討
2	管径変化部の応力計算	応力集中が想定される管径変化部における構造応力・変位等の照査
3	シールド深度・断面・掘進延長に関する施工実績等の検証	大深度、大断面、長距離施工に関する施工実績調査等
4	シールドセグメントの耐力計算	土圧・水圧・建築物荷重・地震荷重に対する構造応力・変位等の照査

# 4. 構造物の技術的な検討について

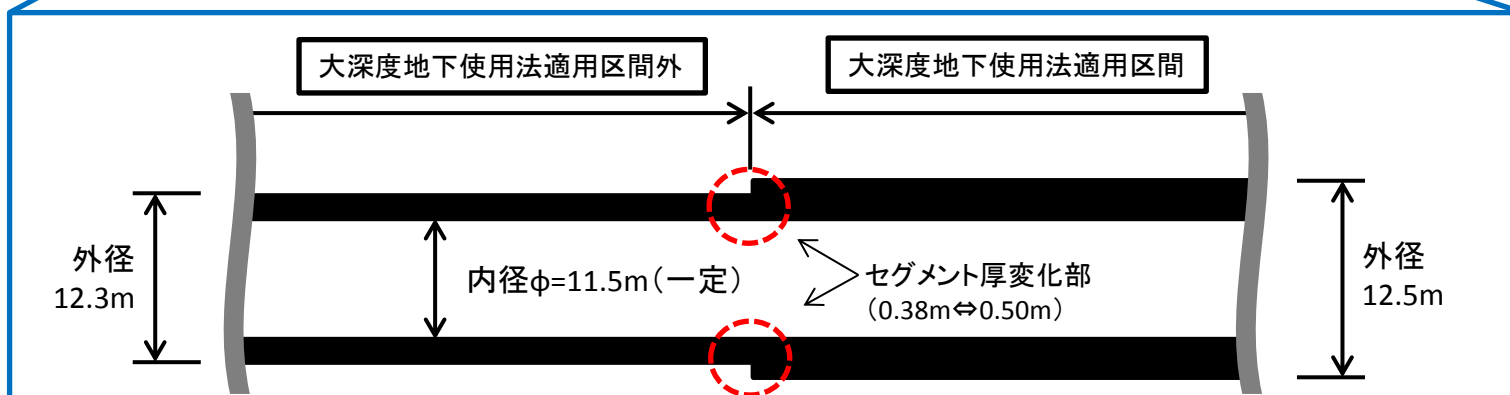
## 4.1 管径変化部の施工方法の検討

### 管径変化部の施工方法の検討方針

大深度地下使用法適用区間とそれ以外ではシールドセグメント厚を変化させることを想定しており、技術的な妥当性についてメーカーヒアリング等により検討します。



セグメント厚変化部のイメージ図



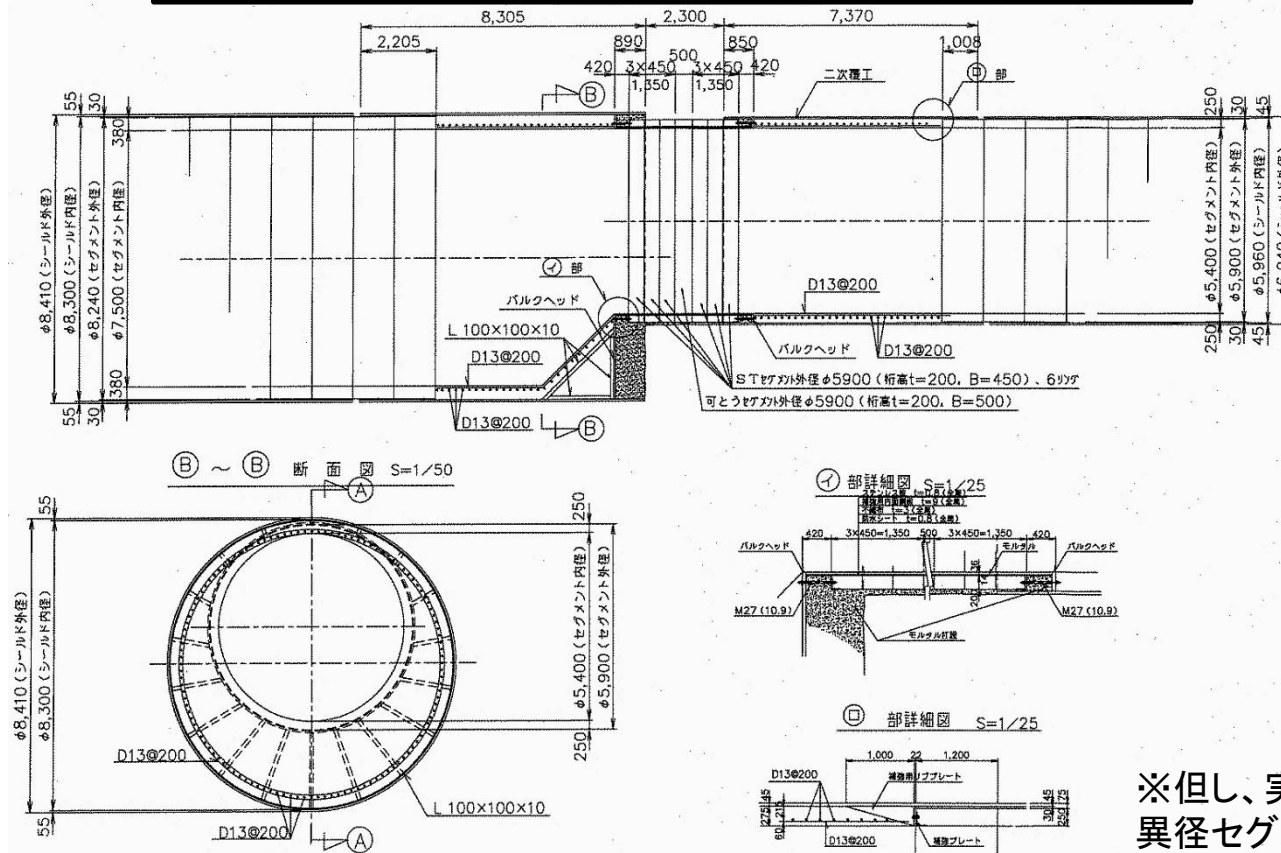
# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.2 管径変化部の応力計算

### 管径変化部の応力計算方針

通常深度区間と大深度区間の境界部においてシールド径が変化することにより応力集中が生じる恐れがあるため、応力計算を行い、対策について検討します。

### 寝屋川北部地下河川における管径変化部の実績 (古川調節池と北島調節池の地中接合)



※但し、実績は地中接合であり、異径セグメントの連続施工ではない。4

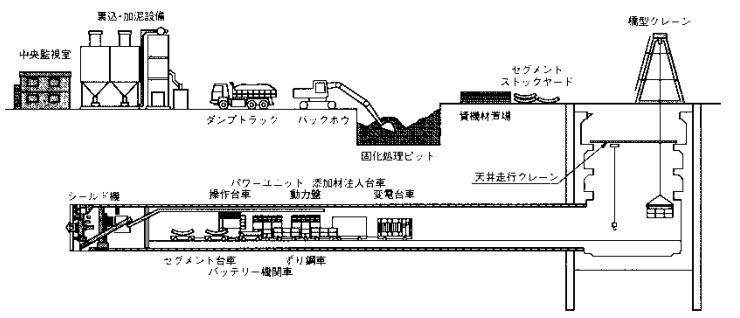
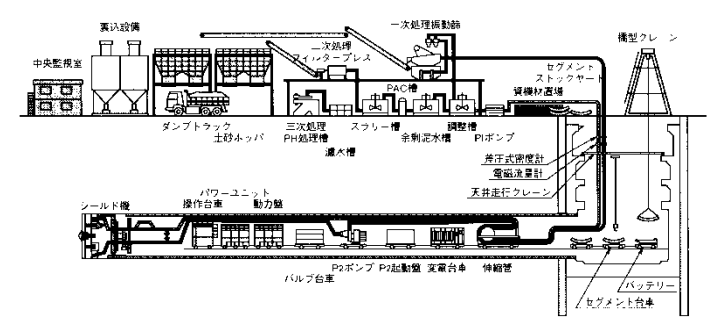
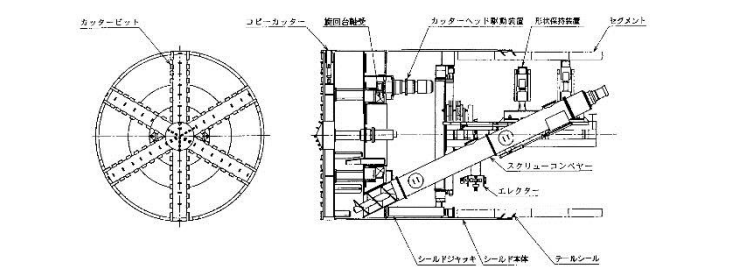
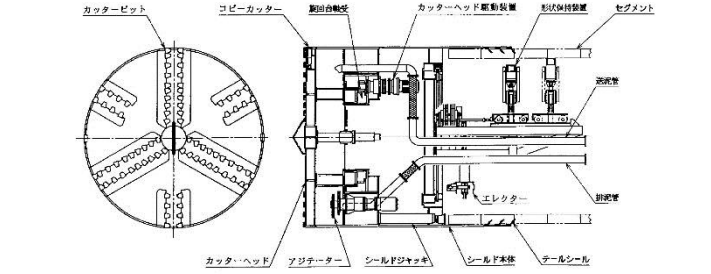
# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.3 シールド深度・断面・掘進延長に関する施工実績等の検証

### シールド深度・断面・掘進延長に関する施工実績等の検証方針

大深度地下における長距離・大断面の施工実績が多いシールド工法としては、泥水式と泥土圧式が挙げられます。今後、より詳細な事例調査やメーカーヒアリング等を行っていきます。

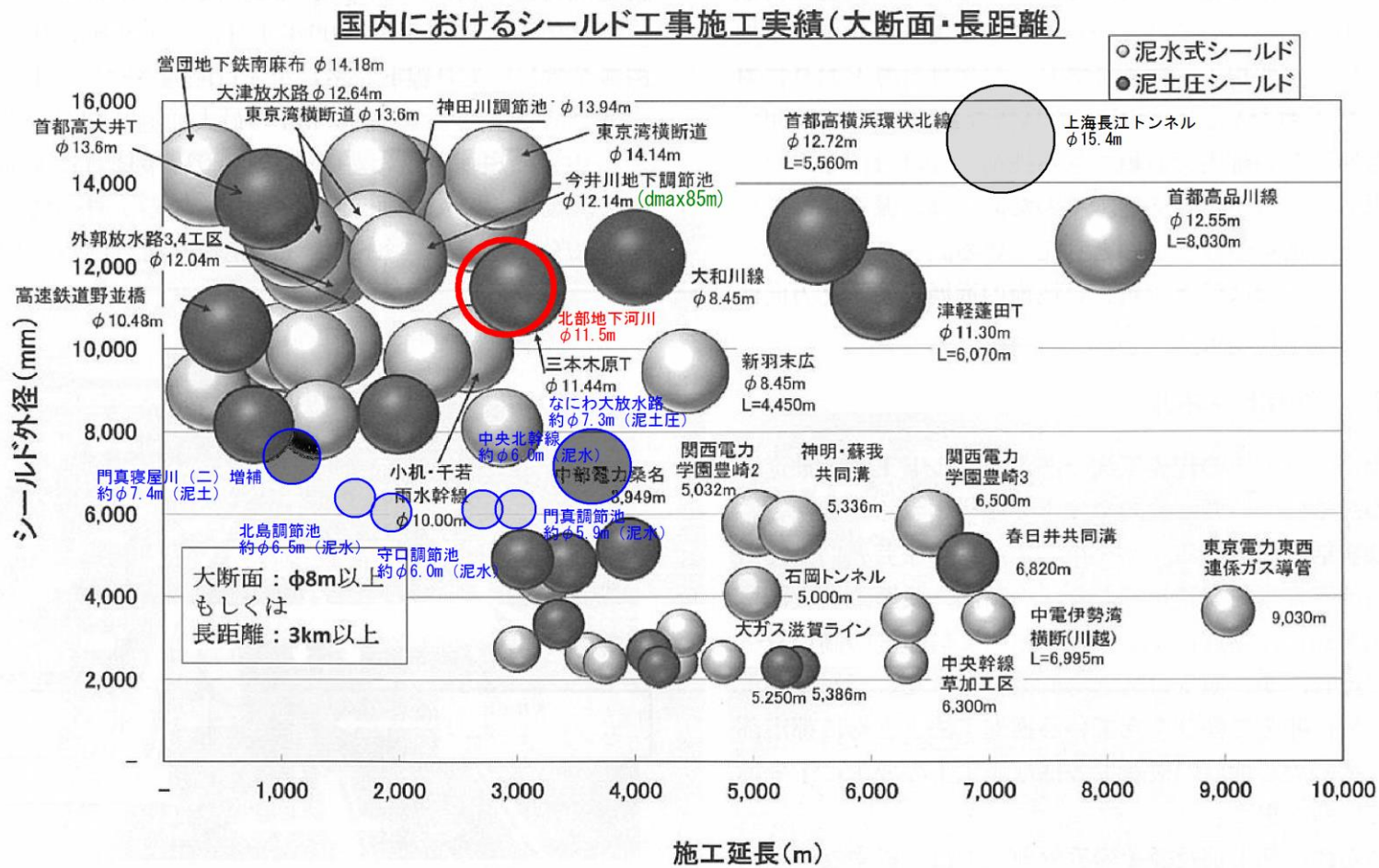
シールド工法比較表（概要）

比較項目	泥土圧式シールド工法	泥水式シールド工法
<p>工法概念図</p>		
<p>シールド機概要図</p>		
<p>切羽安定機構</p>	<p>①泥土圧により地山の土圧および水圧に対抗する。                  ②スクリーコンベヤーの排土機構により、切羽圧および排土量を調整する。                  ③泥土の流動性等を適正に保つため、必要により添加材の注入量を調整する。                  上記の総合的作用により切羽の安定をはかる。                  切羽の安定を判断するために、土圧、排土量、カッタートルク、シールドジャッキの推力等の計測機器、崩壊探査装置等をシールド機に装備する。</p>	<p>①泥水圧により地山の土圧および水圧に対抗する。                  ②切羽面に不透水性の泥膜を作り泥水圧を有効かつ均等に作用させる。                  ③切羽面からある程度の範囲の地盤に浸透して切羽の地盤に粘着性を与える。                  上記の総合的作用により切羽の安定をはかる。                  切羽安定には、泥水の物性（比重、粘性、砂分含有率等）の管理と切羽水圧に対応する泥水圧の保持およびシールド機に計測機器、切羽崩壊探査装置等の機構を装備する。</p>



# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.3 シールド深度・断面・掘進延長に関する施工実績等の検証



地盤工学会誌2012.2に示されている国内におけるシールド工事施工実績(大断面・長距離)に寝屋川北部地下河川および近隣でのシールド工事の工法実績を追記。

# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.4 シールドセグメントの耐力計算

### 施設・工作物の耐力の検討方針

大深度地下使用の認可申請においては、制度において想定される建築物荷重を考慮しても、施設の耐力が適切に確保されていること、地震に対する対策が適切であること、を証する必要があります。

必要要件	検討項目
① 公共的事業であること (法4条の事業に該当すること)	(河川事業として実施)
② 事業が対象地域の大深度地下で施行されること	○ 北部地下河川ルート of 検討 ○ 大深度地下(深さ)の検討
③ 事業の円滑な遂行のため大深度地下を使用する 公益上の必要があること	○ 事業効果の検討(費用対効果など)
④ 事業者の意思・能力が十分であること	(大阪府が河川整備計画等に基づき実施)
⑤ 事業計画が基本方針に適合すること	○ <u>安全の確保に対する検討</u> ○ 環境の保全に対する検討
⑥ 事業により設置する施設・工作物の耐力が 政令で定める基準をクリアしていること	○ <u>構造物(地下トンネル等)の技術的な検討</u>
⑦ 物件(井戸等)の移転・除却が必要な時は、それが 困難又は不適當でないこと	○ 物件調査の実施、補償の検討

# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.4 シールドセグメントの耐力計算

### 大深度地下使用法における記述

大深度地下の公共的使用に関する特別措置法における、設置する施設又は工作物の耐力に関する記述は以下のとおりです。

大深度地下の公共的使用に関する特別措置法  
(使用の認可の要件)

第十六条 国土交通大臣又は都道府県知事は、申請に係る事業が次に掲げる要件のすべてに該当するときは、使用の認可をすることができる。

- 一 事業が第四条各号に掲げるものであること。
- 二 事業が対象地域における大深度地下で施行されるものであること。
- 三 事業の円滑な遂行のため大深度地下を使用する公益上の必要があるものであること。
- 四 事業者が当該事業を遂行する十分な意思と能力を有する者であること。
- 五 事業計画が基本方針に適合するものであること。
- 六 事業により設置する施設又は工作物が、事業区域に係る土地に通常の建築物が建築されてもその構造に支障がないものとして政令で定める耐力以上の耐力を有するものであること。
- 七 事業の施行に伴い、事業区域にある井戸その他の物件の移転又は除却が必要となるときは、その移転又は除却が困難又は不適當でないことと認められること。

大深度地下の公共的使用に関する特別措置法施行令  
(設置する施設又は工作物の耐力)

第五条 法第十六条第六号の政令で定める耐力は、事業により設置する施設又は工作物の位置、土質及び地下水の状況に応じ、通常の建築物の建築により作用する荷重、土圧及び水圧に対して当該施設又は工作物が安全であることが、国土交通大臣の定める方法により確かめることができる最低の耐力とする。

2 前項の通常の建築物の建築により作用する荷重は、その建築により地表から二十五メートルの深さまで排土するものとした場合において増加荷重が一平方メートル当たり三百キロニュートンとなる建築物(当該建築物を通常の建築物として想定することが、その区域に適用される法令の規定による制限(建築物の高さ制限その他の建築することができる建築物の荷重に影響を及ぼす制限に限る。)からみて適切でない区域として国土交通大臣が指定する区域にあっては、当該区域において建築が想定される最大の荷重の建築物として別に国土交通大臣が定める荷重の建築物)が施設又は工作物に作用する荷重とし、土質、地下水の状況及び支持地盤の位置に応じ、国土交通大臣が定める方法により算定するものとする。



# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.4 シールドセグメントの耐力計算

### 基本方針における記述

大深度地下の公共的使用に関する基本方針における、安全の確保に関する記述は以下のとおりです。

#### 1 安全の確保

大深度地下における安全の確保は、大深度地下の施設を人間の活動空間の一つとして利用するためには非常に重要な課題である。安全上の課題となる主な災害としては、火災・爆発、停電等が挙げられる。

(1)火災・爆発【省略】

#### (2)地震

大深度地下は、地上及び浅深度地下よりも地震動による影響を受けにくい特徴を有しており、地震による被害は、主に地上等との接続部分で発生することが懸念されるため、これを念頭に置いた施設の設計を行う必要がある。

また、地震時に大きな影響を受ける活断層上への施設の設置については、極力避けるべきではあるが、やむを得ず活断層上へ設置せざるを得ない場合においても適切な対策を講じる必要がある。

なお、空気、水、エネルギーの供給ライン等への被害による施設機能の低下については、各種設備の耐震化、非常用設備の設置等の対策により信頼性の向上を図ることが必要である。

(3)浸水【省略】

(4)停電【省略】

(5)救急・救助活動【省略】

(6)犯罪防止【省略】

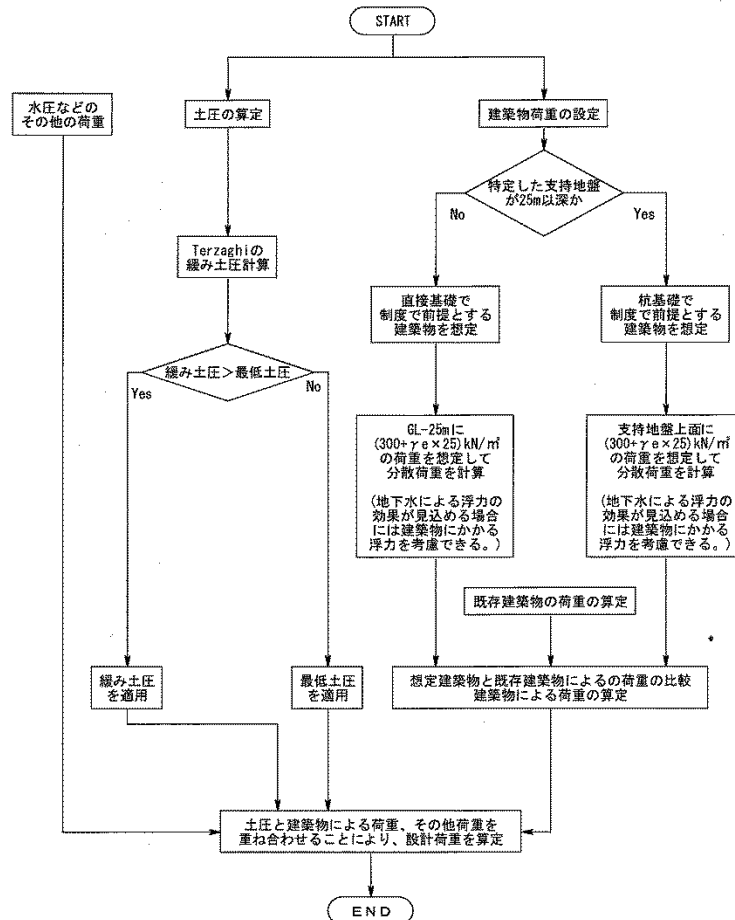
(7)その他【省略】

# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.4 シールドセグメントの耐力計算

### 設計荷重の算定フロー

構造物に作用させる設計荷重は、大深度地下制度において想定される、土圧と建築物荷重を考慮します。



設計荷重の算定フロー

H13.6大深度地下使用技術指針・同解説

(国土交通省 都市・地域整備局企画課 大深度地下利用企画室)より

# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.4 シールドセグメントの耐力計算

### 土圧の算定方法

大深度地下制度において想定される土圧の算定方法を示します。

#### ○土圧及び水圧

土圧は、式(1)(2)により算出される値のうちいずれか大きい値を考慮する。

また、水圧は、(3)式により算出するものとする。

なお、水圧は大深度においては支配的な荷重となることから、その設定は慎重に行うものとする

$$(1) \quad P_v = \frac{B(\gamma - C/B)}{K \tan \phi} \left\{ 1 - e^{-K \tan \phi H/B} \right\} \quad \text{ここに } B = R \cot \phi \left( \frac{\pi/4 + \phi/2}{2} \right)$$

$P_v$  : 緩み土圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_{min}$  : 最低土圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$K$  : 水平土圧と鉛直土圧の比 (通常  $K = 1$  としてよい)

$\gamma$  : 土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$C$  : 土の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$D$  : トンネル外径 (m)

$H$  : 地表から設置する施設等までの深さ (m)

$R$  : トンネル半径 (m)

$\phi$  : 土の内部摩擦角 (ラジアン)

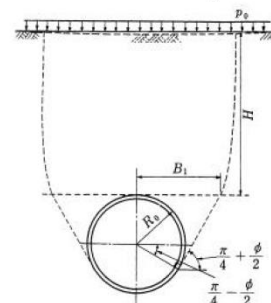
$$(2) \quad P_{min} = \gamma D$$

$P_w$  : 水圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$H$  : 地表から設置する施設等までの深さ (m)

$L$  : 地表から地下水位までの深さ (m)

【参考】緩み土圧について  
大深度地下で想定される、洪積地盤等の比較的良好な地盤中にトンネルを構築する場合には、全土被り荷重より値の小さい「緩み土圧」によるトンネル設計が採用できる。一般的には、緩み土圧の算定には、下図の Terzaghi の式を用いる。



$$\sigma_v = \frac{B_1(\gamma - c/B_1)}{K_0 \tan \phi} \cdot (1 - e^{-K_0 \tan \phi H/B_1}) + p_0 \cdot e^{-K_0 \tan \phi H/B_1}$$

$$B_1 = R_0 \cdot \cot \left( \frac{\pi/4 + \phi/2}{2} \right)$$

$\sigma_v$  : Terzaghi の緩み土圧  
 $h_0$  : 土の換算緩み高さ (=  $\sigma_v / \gamma$ )  
 $K_0$  : 水平土圧と鉛直土圧の比 (通常  $K_0 = 1$  としてよい)  
 $\phi$  : 土の内部摩擦角  
 $p_0$  : 土の単位体積重量  
 $\gamma$  : 土の単位体積重量  
 $c$  : 土の粘着力

ただし、 $p_0 / \gamma$  が  $H$  に比し小さい場合は下記の式によってよい。

$$\sigma_v = \frac{B_1(\gamma - c/B_1)}{K_0 \cdot \tan \phi} \cdot (1 - e^{-K_0 \tan \phi H/B_1})$$

○ 緩み土圧

【出典】トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説 (土木学会 平成 8 年)

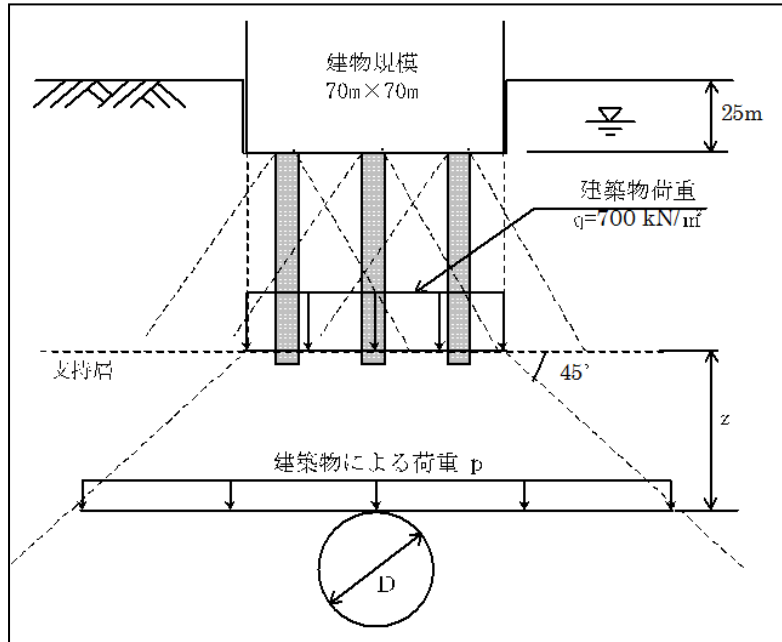
# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.4 シールドセグメントの耐力計算

### 建築物荷重の設定方法

建築物による荷重は、下図のように支持地盤上面に建築物荷重が作用し、 $45^\circ$  の分散角で荷重が分散するものと考えます。

ここで、建築物荷重の算定に用いる土の単位体積重量  $\gamma_e$  ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) は、地質調査データに基づき設定することとします。



### 4.3 大深度地下使用制度において前提としている建築物の規模

大深度地下使用制度においては、地下掘削深さ  $\text{GL}-25\text{m}$ 、荷重は  $300\text{kN}/\text{m}^2 + \gamma_e$   $\text{kN}/\text{m}^3 \times 25\text{m}$  の建築物を前提とする。

また、載荷面規模については、 $70\text{m} \times 70\text{m}$  とする。

$\gamma_e$  : 地下水位以上では土の湿潤単位体積重量 ( $\gamma_t$ ) を指し、地下水位以下では、土の飽和単位体積重量 ( $\gamma_{\text{sat}}$ ) を指す。

H13.6大深度地下使用技術指針・同解説

(国土交通省 都市・地域整備局企画課 大深度地下利用企画室)より

左図は土の単位体積重量を $16\text{kN}/\text{m}^3$ とした場合の例

# 4. 構造物の技術的な検討について

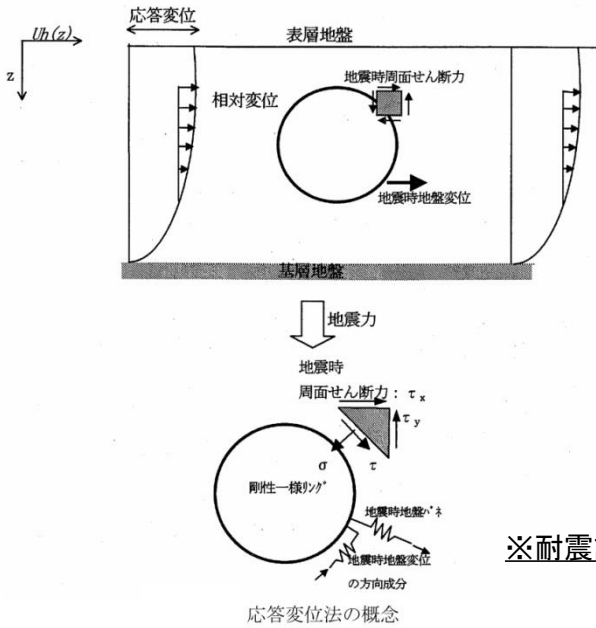
## 4.4 シールドセグメントの耐力計算

地震時における検討

地震に対する検討においては、立坑と管路の接続部や、地盤条件が互層の箇所等、振動特性の複雑な位置での耐震検討を、必要に応じて実施します。

(通常の耐震検討の考え方)

・地震時荷重  
レベル1地震動およびレベル2地震動における地震時荷重については、応答変位法にて算出するものとする。  
ここにいう応答変位法は、下図に示す手法であり、地震時荷重として相対的に算出するものである。

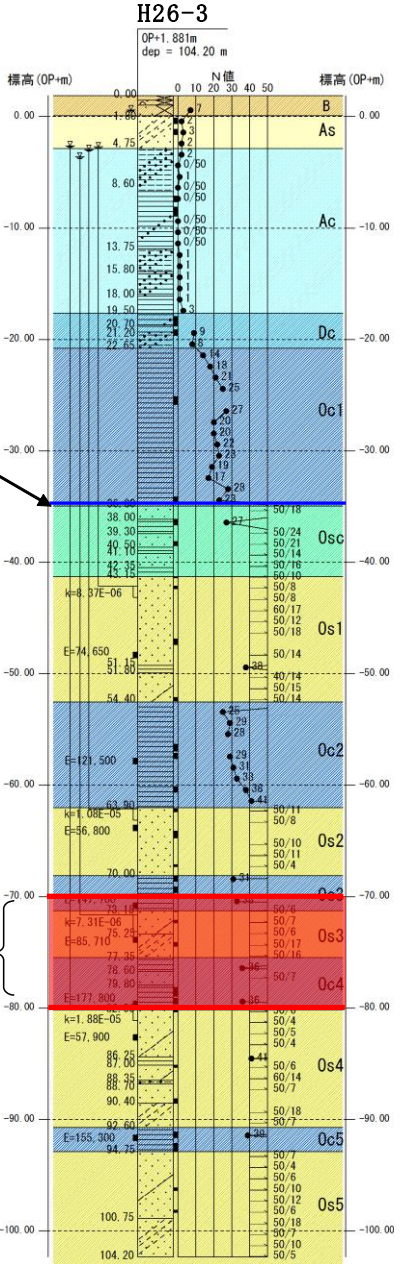


(大深度地下における考え方)

5.5 地震時の影響について  
大深度地下施設は、地震により受ける影響は小さいと考えられるので、原則として地震の影響を考慮する必要はないが、地上部との接続部分や、振動特性が異なる地盤に設置される場合などには検討を行い、必要に応じて対策をとるものとする。

耐震設計上の基盤面

地下河川通過深度



※耐震設計上の基盤面・・・平均せん断弾性波速度 $V_{si} \geq 300$ (m/s)程度以上  
(粘性土層ではN値25、砂質土層ではN値50以上)

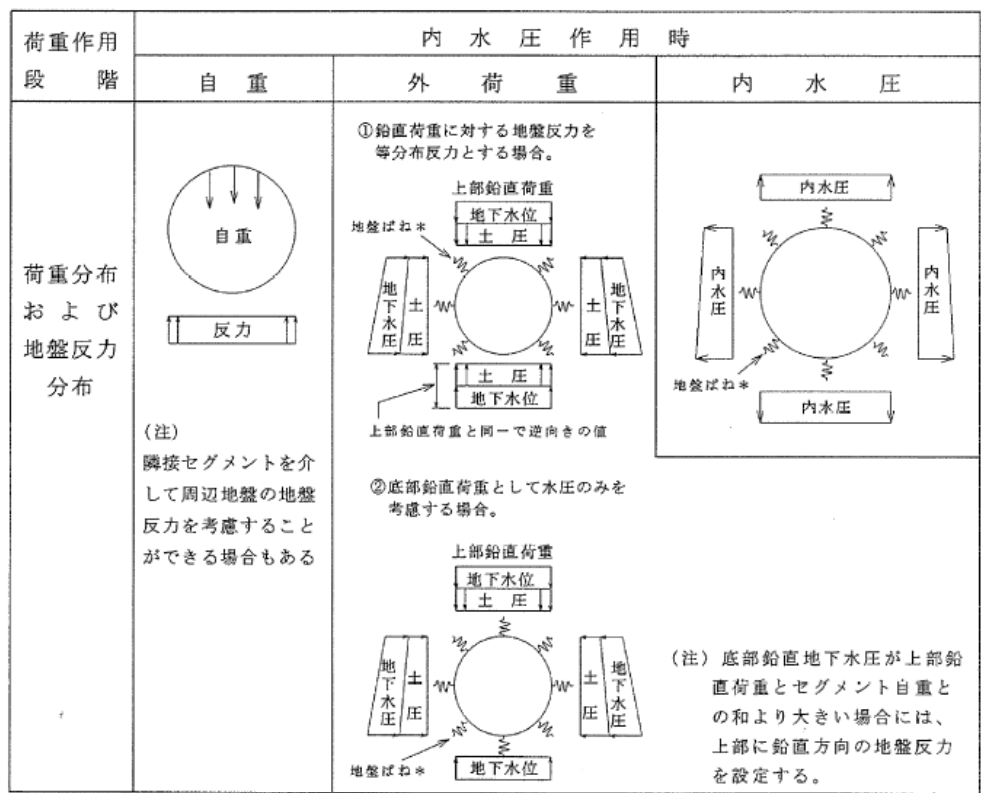


# 4. 構造物の技術的な検討について

## 4.4 シールドセグメントの耐力計算

### 構造物の耐力計算の方法

構造物の耐力計算にあたっては、内水圧が作用することを考慮した荷重条件により、主要な断面について照査を行うこととします。



\*Winklerの仮定に基づく地盤反力を考慮

# 4. 構造物の技術的な検討について

## 構造物の技術的な検討のスケジュール

構造物の技術的な検討のスケジュールを示します。  
 4.2管径変化部の応力計算については、構造物の詳細設計において実施します。

	H26				H27				H28			
	4~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3
府河川構造物等審議会 (大深度地下使用検討部会)		● H26.7.30 H26第1回審議会 (事業概要説明)		● H27.2.24 H26第1回部会 (ルート・深度検討)		● H27.7.13 H27第1回部会 (ルート・深度決定)	● H27.12予定 H27第2回部会 (深度・水理・環境・構造)			● H28.7予定 (構造検討結果)		
4.1管径変化部の施工方法の検討												
メーカーヒアリング等												
4.2管径変化部の応力計算												
応力計算												
4.3シールド深度・断面・掘進延長に関する施工実績等の検証												
メーカーヒアリング等												
4.4シールドセグメントの耐力計算												
耐力計算												

詳細設計時(H29以降)に実施