

- g) セグメントの変状
- h) シールドの蛇行および回転

## 2) 測定

- a) シールドまたは覆工に作用する土圧および水圧
- b) シールドまたは覆工に生じる応力および変位

## 3) 工事記録

- a) 工事誌
- b) 竣工図（平面図，縦断面図）
- c) 地質図
- d) 映画，写真，等

これらの観測，測定および工事記録，等をとるおもな目的は，

- ① シールド工法の安全な施工を行なうため，
- ② 工事による事故や紛争が発生した場合の原因究明や補償の資料とする，
- ③ 竣功後の施設の維持管理および補修，等の資料に用いる，
- ④ 将来のシールド工法の改善，発展，等のための技術資料とする，

などであり，種々の利益があるので，できるだけ正確で詳細な記録をとることが望ましい。

また，これらのデータは整理し保存につとめ，以後の利用に便利なおこななければならない。

# 第 2 編 覆工およびセグメント

## 第 1 章 総 則

### 2.1.1 適用範囲

この第2編は，円形シールドによるトンネルの覆工およびセグメントに関する設計ならびに製作の基本となる事項を示す。ただし，責任技術者の承認を得て他のシールドトンネルに準用することができる。

【解 説】 シールドトンネルでは，施工法はもとよりトンネルの断面形状などによってもその力学的挙動が相違すると考えられるから，覆工およびセグメントの設計はこれらに応じて行なうことを原則としなければならない。しかし，シールドトンネルにおいては円形断面が圧倒的に多く，単にシールドトンネルといえばこれを指すのが実状であるので，円形断面を対象として指針を提示することにとどめ，他の断面形に対しては，責任技術者の判断により適当と認められる条項の準用を認めることとした。

### 2.1.2 覆工およびセグメント

セグメントは，一般に一次覆工材として単独か，または二次覆工材と併用して覆工に用いられるが，トンネルの使用目的と施工に適合するように強度，構造，形式および種類，等を選定しなければならない。

【解 説】 セグメントの使用目的は，

- a) シールドの推進にあたってそのジャッキ推力受けとする，
- b) トンネル施工中の支保工材とする，
- c) トンネル完成後に単独か，または二次覆工材と併用して永久的な覆工構造とする，

などである。セグメントの強度は永久的な構造物として設計されるのが一般的であるが，上下水道用や電力・通信用などでは工事中の支保工のみを目的とする場合もある。覆工の設計にあたっていかなる考え方を用いるかは，覆工構造の種類とこれに対する責任技術者の判断にゆだねられなければならない（1.3.6 参照）。

一次覆工の構造および形式については，わが国では箱形あるいは平板形セグメントをボルト継手で組み立てたリング構造を剛性一様なリングとして取扱う考え方が一般的に普及

しているが、リブ アンド ラグging (Rib and Lagging), 多ヒンジ構造, 等の考え方も開発されつつある。

セグメントの種類は, 材質からコンクリート, 鋼, 球状黒鉛鑄鉄, 鑄鉄, 鑄鋼およびこれらを合成した製品, 等に分かれるが, それぞれ特徴があり, 現時点では鉄道などの大口径用としては鉄筋コンクリート製セグメントを主に, 球状黒鉛鑄鉄製セグメントを従として, 上下水道や電力通信などの中小口径用としては鋼製セグメントおよびコンクリート系セグメントを主に, その他を従として用いる傾向が強い。

コンクリート系セグメントは, 経済的であるが重量が重く, かつ組立てがむずかしいので, 製作および組立てを入念に行なわねばならず, 特に縁端部の損傷には注意を要する。溶接で作った鋼製セグメントは, 軽くて強くて組立ても容易であるが, 機械仕上げをしなければ, 組立ての精度は期待すべきでない。したがって, 防水上の弱点はあるが, 他の鉄製のセグメントに比して経済的である。球状黒鉛鑄鉄を始めとして鑄鉄, 鑄鋼製のセグメントは, 機械仕上げによって製品精度が高く, 組立てを正確に行なうことができるから, 漏水防止に有効であるが比較的高価である。鋼製セグメントも機械仕上げをすれば, 製品精度は良くなるが, やはり高価になる。

二次覆工は一般に現場打ちのコンクリートを使用して一次覆工の内側に巻き立てるが, 一次覆工を単に支保工とする場合には二次覆工は, 土圧を始めとした荷重に対して設計する必要があり, 一次覆工を永久的な構造物とする場合にはトンネルの蛇行修正, 防水, 防錆, 内装, セグメントの補強, 等を目的として用いられる。

### 2.1.3 設計計算の基本

覆工およびセグメントの設計計算は, その使用目的に対して安全性の確認を基本とする。

【解説】 覆工およびセグメントの設計計算に対する基本的姿勢を示したものである。荷重の設定とそれに対する構造計算法の選択は, 経験と理論とに根ざして現象をできるだけ正しく説明できるようにすべきであるが, トンネル現象は複雑であるので, 多少でも不明の問題がある場合には, 少なくとも構造の安全性が確認できることを基本としなければならない。したがって, 覆工およびセグメントの設計計算は, 施工完了後はもちろんのこと, 施工途中における安全性を確認する手段であり, トンネル現象の実状を正しく説明したものでなくともやむをえない。

トンネルの合理的かつ経済的な設計計算は, その現象を正しく把握しなくては不可能であるから常に研究を怠らず, その成果を設計に還元させるようにつとめなければならない。

### 2.1.4 名称

覆工およびセグメントに関する用語は次のとおりとする。

覆工厚——トンネル横断面における覆工の厚さ(図1参照)。

箱形セグメント——主桁と継手板を有するセグメント。

平板形セグメント——平板状のセグメント。

A, B, K セグメント——図2参照。

分割数——1リングを構成するセグメント数。

テーパリング——曲線部に主として用いるテーパのついたリング(図3参照)。

テーパ角——(図3に示す値 $\beta$ をいう)テーパリングにおける最大幅と最小幅との差をテーパ量と呼ぶことがある。

継手角度——図2, 図4参照。

セグメント幅——トンネル縦断方向に測ったセグメントの寸法。

セグメント長さ——トンネル横断方向に測ったセグメントの弧長。

セグメント高さ——トンネル横

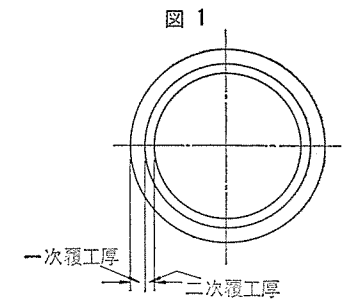


図2

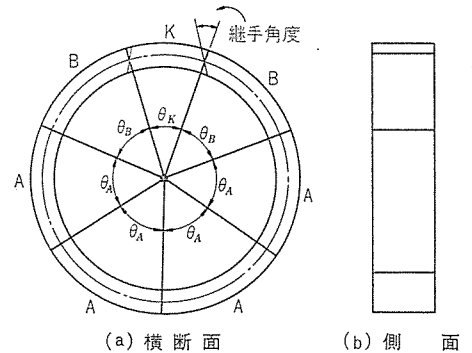
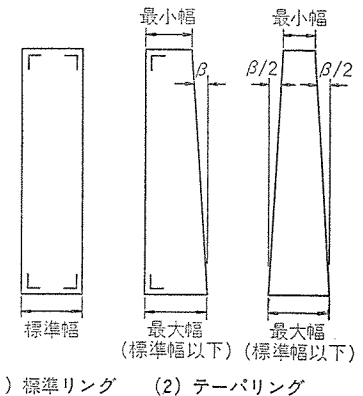


図3



(1) 標準リング (2) テーパーリング

断面の半径方向に測ったセグメント側壁の長さ。

主桁——トンネルの横断方向に沿った箱形セグメントの側壁、トンネルに作用する外力に抵抗する主要部分を形成する。平板形セグメントにおいてはトンネル縦断方向の断面からなる。

継手——リングを形成する継手をセグメント継手、リング相互をつなぐ継手をリング継手という。

継手板——トンネルの縦断方向に沿ったセグメントの側壁、セグメント継手を形成するとともに縦リブと同様な働きをする。

スキンプレート——箱形セグメントにおいて主桁と継手板などで周辺を支持された板。

縦リブ——箱形セグメントにおいてトンネルの縦断方向に沿って入れた補強材。シールドジャッキの推力に抵抗するとともにスキンプレートに作用する荷重を主桁に伝達する。

横リブ——箱形セグメントにおいてトンネルの横断方向に沿って入れた補強材。

セグメント継ぎボルト——リングを形成するためにセグメント相互を連絡するために用いるボルト。

リング継ぎボルト——リング相互を連結するために用いるボルト。

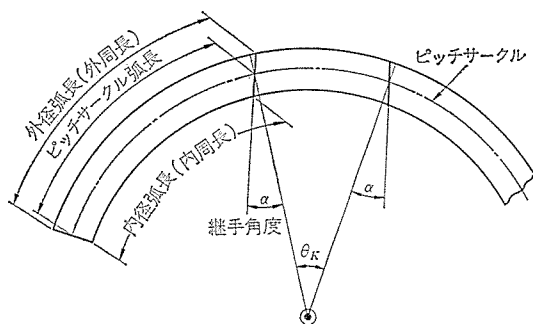
コーキング溝——コーキングのためにセグメントの側壁に沿って設けた溝。

パッキング溝——パッキングのためにセグメントの側壁に沿って設けた溝。

注入孔——裏込め注入用ホースを取り付けるためにセグメントに設けた穴。

吊手金具——エレクターに取り付けるためにセグメントに設けた金具。

図 4



【解説】用語を統一して乱用と混乱を避けるのが目的である。ここに収録した用語は

従来の用法が不適当と考えられるもの、同義語のあるもの、または、まぎらわしいものに重点がおかれている。たとえば、従来一般に使用されている中子型セグメントは、中子の概念から呼称に問題があるとして箱形セグメントに改め、主構、主リブは主桁に統一し、縦リブおよび横リブは、定義を明確にして混同を避けている。

### 2.1.5 記号

覆工およびセグメントに関する記号は次のとおりである。

$E$ ——材料のヤング係数。

$I$ ——断面二次モーメント。

$M, N, Q$ ——曲げモーメント、軸力およびせん断力、リングの断面力においては図示の方向を正とする。

$\eta$ ——曲げ剛性 ( $EI$ ) の有効率 (2.5.5 参照)。

$R_o, R_c, R_i$ ——覆工の外周半径、図心半径および内周半径。

$h$ ——覆工厚 ( $h_1, h_2$ ——一次覆工厚、二次覆工厚)。

$B$ ——セグメント幅。

$\gamma, \gamma', \gamma_w$ ——土の単位体積重量、土の水中単位体積重量、および水の単位体積重量。

$H$ ——覆工外周の頂点から測った土かぶり。

$H_w$ ——覆工外周の頂点から測った静水面の高さ。

$W$ ——上載荷重。

$w$ ——トンネル縦断方向単位長さの覆工の自重。

$g$ ——トンネル縦断方向単位長さの覆工における覆工の図心線に沿った単位周長あたりの覆工の自重。

$p$ ——鉛直方向の荷重強度。

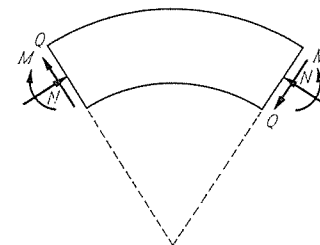
$q$ ——水平方向の荷重強度。

$\lambda$ ——側方土圧係数。

$k$ ——地山の抵抗土圧係数。

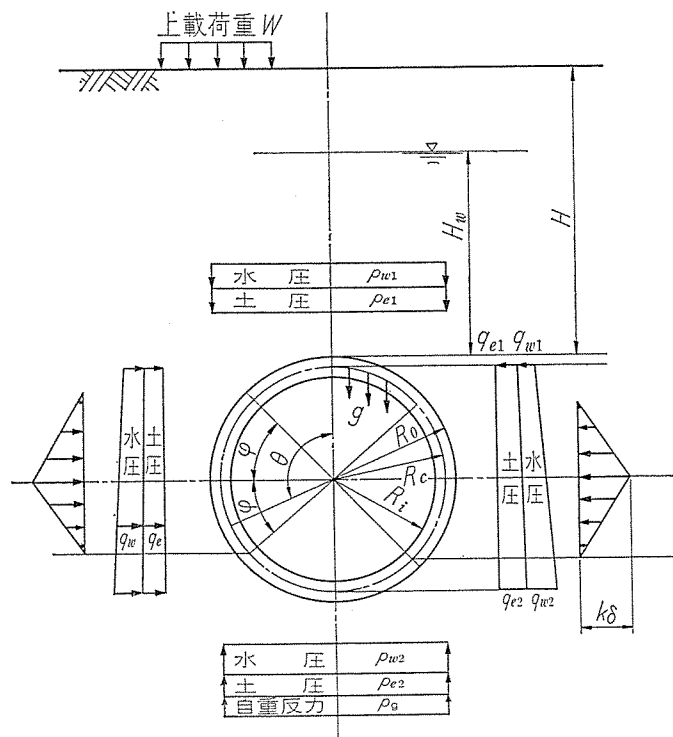
$\delta$ ——覆度の変位、覆工の外方に向かうものを正とする。

図 5



- c —— 土の粘着力。
- $\phi$  —— 土の内部摩擦角。
- $\alpha$  —— 継手角度 (図 4 参照)
- $\beta$  —— テーパー角 (図 3 参照)
- $\theta_A, \theta_B, \theta_K$  —— A, B, K セグメントの各中心角 (図 2 参照)

【解説】 従来、一般に使用されている記号を参照し、構造計算の便宜をはかって記号を統一したものである。



解説 図 4 記号使用の一例

$\rho_{e1} + \rho_{w1} \geq \rho_{w2}$  の場合

$$\rho_{e1} + \rho_{w1} = \rho_{e2} + \rho_{w2} \quad \rho_{w1} = \gamma_w \cdot H_w \quad \rho_{w2} = \gamma_w (H_w + 2R_o)$$

$$q_e = \lambda \{ \rho_{e1} + (R_o - R_c \cos \theta) \gamma' \} \quad q_{e1} = \lambda \{ \rho_{s1} + (R_o - R_c) \gamma' \}$$

$$q_{e2} = \lambda \{ \rho_{e1} + (R_o + R_c) \gamma' \} \quad g = \frac{W}{2\pi R_c} \quad p_\theta = \pi g$$

$$q_{w1} = \rho_{w1} + (R_o - R_c \cos \theta) \gamma_w \quad q_{w1} = \rho_{w1} + (R_o - R_c) \gamma_w \quad q_{w2} = \rho_{w1} + (R_o + R_c) \gamma_w$$

## 第2章 材 料

### 2.2.1 材 料

セグメントの製作に使用する材料は、原則として日本工業規格 (JIS) に適合するものとする。

【解説】 一般に使用されているセグメント用材料は、コンクリート、鋼、鋳鋼、鋳鉄および球状黒鉛鋳鉄であるが、いずれも次にかかげる JIS に適合することを原則とするほか、無筋および鉄筋コンクリートについては、土木学会「コンクリート標準示方書」によらなければならない。なお、特別の場合には、責任技術者の承認を得て、JIS に規定されていない材料を使用することができる。

#### (1) セメント

解説 表 1

名 称	区 分	JIS 番号
ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント	JIS R 5210
	早強	
	中庸熱	
高 炉 セ メ ン ト	A, B, C の 3 種	JIS R 5211
シ リ カ セ メ ン ト	同 上	JIS R 5212
フ ラ イ ア ッ シ ュ セ メ ン ト	同 上	JIS R 5213

#### (2) 鋼材品質

解説 表 2

種類および JIS 番号	記 号	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏点または耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )			
			厚さ、径、辺、または対辺距離 (mm)			
			16 以下	16 をこえ 40 以下	40 をこえ るもの	
一般構造用圧延鋼材 JIS G 3101	2種	SS 41	41~52	≧25	≧24	≧22
	3種	SS 50	50~62	≧29	≧28	≧26
溶接構造用圧延鋼材 JIS G 3106	1種	SM 41	41~52	≧25	≧24	≧22
	2種	SM 50	50~62	≧33	≧32	≧30
熱間圧延薄鋼板 JIS G 3301	1種	SPN	≧28			

(3) 鋼材形状寸法

解説表 3

種類	JIS 番号
平鋼	JIS G 3194
形鋼	JIS G 3192
鋼板	JIS G 3193
パイプ	JIS G 3452 JIS G 3454
ボルト	(普通) JIS B 1180 (高力) JIS B 1186
ナット	( # ) JIS B 1181 ( # ) "
座金	( # ) JIS B 1256 ( # ) "

(4) 鉄筋コンクリート用棒鋼 (JIS G 3112)

解説表 4

種類	別記	記号	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )
熱間圧延棒鋼	1種	SR 24	39~53	≧24
	2 "	SR 30	49~63	≧30
熱間圧延異形棒鋼	1 "	SD 24	39~63	≧24
	2 "	SD 30	49~63	≧30
	3 "	SD 35	50	≧35
	4 "	SD 40	57	≧40
	5 "	SD 50	63	≧50
冷間加工異形棒鋼	1 "	SDC 40	50~65	≧40
	2 "	SDC 50	63~80	≧50

(5) 鋳造品

解説表 5

種類	記号	JIS 番号	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> ) 〔鋳鉄品の主要肉厚 mm〕				降伏点または耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
			4以上 8以下	8をこえ 15以下	15をこえ 30以下	30をこえ 50以下		
炭素鋼鋳鋼品	3種 SC 46	JIS G 5101	<46				(降) ≧23	≧22
ネズミ鋳鉄品	4 "	FC 25	>28	>26	>25	>22	—	
球状黒鉛鋳鉄*	2 "	FCD 45	>45				(耐) >30**	>5***

\* ダクタイル鋳鉄とも略称される。

\*\* 圧縮に対しては 20% 増し。

\*\*\* 10% 以上が望ましい。

(6) 溶接棒

解説表 6

種別	JIS 番号
軟鋼用被覆アーク溶接棒	JIS Z 3211
高張力鋼用被覆アーク溶接棒	JIS Z 3212

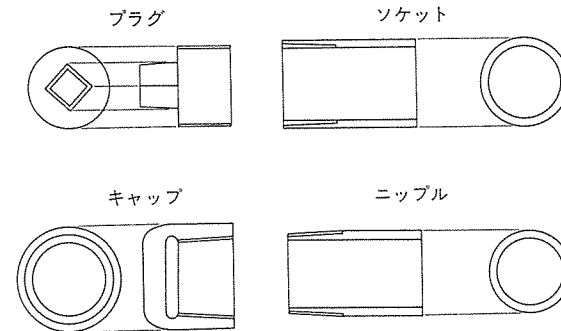
自動溶接および半自動溶接に用いる溶接棒は、責任技術者の承認を得て、JIS に規定されていないものを使用することができる。

(7) 注入孔用金具

解説表 7

種別	JIS 番号
注入孔 ねじ込み形鋼管製管継手	ソケット ニッケル* JIS B 2302
注入孔栓 ねじ込み式可鍛鋳鉄製継手	プラグ キャップ JIS B 2301

\* 片側だけねじを切る。



解説図 5

2.2.2 材料の試験

材料が日本工業規格に適合していることを確認するために、材料の各種試験を実施しなければならない。

【解説】規格証明書 (JIS) つきの材料については、試験の必要はない。ただし、確認試験を行なう場合、金属材料については、次の JIS に従う。

JIS Z 2201	金属材料引張試験片
〃 2204	〃 曲げ 〃
〃 2241	〃 引張試験方法
〃 2248	〃 曲げ試験方法

JIS に規格されていない材料については、責任技術者の指定する試験に合格するものでなければならない。鋳造品の試験は、セグメントまたはこれと同等品について行なうものとする。コンクリート関係については、土木学会「コンクリート標準示方書」に従う。

## 第 3 章 許容応力度

### 2.3.1 許容応力度

覆工およびセグメントの構造材料の許容応力度は次のとおりとする。

#### (1) コンクリートおよび鉄筋の許容応力度

コンクリートおよび鉄筋の許容応力度は、土木学会「鉄筋コンクリート標準示方書」による。

#### (2) 鋼材の許容応力度は表 1 の値以下とする。

表 1 鋼材の許容応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

鋼材の種類	SS 41, SM 41	SS 50	SM 50
引 張 り	1 400	1 700	1 900
圧 縮	1 400	1 700	1 900
曲 げ	1 400	1 700	1 900
せん 断	800	1 000	1 100

#### (3) アーク溶接部の許容応力度

アーク溶接部の許容応力度は工場溶接に対して表 2 の値以下とする。

表 2 溶接部の許容応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

鋼材の種類	SS 41, SM 41 の溶接部	SM 50 の溶接部	SS 41, SM 41 と SM 50 との溶接部
つき合せ	引 張 り	1 400	1 400
	圧 縮	1 400	1 400
	せん 断	800	800
すみ肉	800	1 100	800

#### (4) 球状黒鉛鋳鉄の許容応力度

球状黒鉛鋳鉄の許容応力度は表 3 の値以下とする。

表 3 球状黒鉛鋳鉄の許容応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

種 類	FCD 45	
曲げ縁応力度	引張り	1 400
	圧 縮	1 700
せん 断	1 000	

#### (5) 炭素鋼鋳鋼の許容応力度

炭素鋼鋳鋼の許容応力度は表 4 の値以下とする。

表 4 炭素鋼鋳鋼の許容応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

種 類	SC 46	
曲げ縁応力度	引張り	1 400
	圧 縮	1 400
せん 断 応 力 度	800	

#### (6) ボルトの許容応力度

ボルトの許容応力度は表 5 の値以下とする。

表 5 ボルトの許容応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

鋼材の種類	4T
引 張 り	1 200
せん 断	800

【解 説】 本条は、永久的な構造物に対する許容応力として現在多用されているセグメント用構造材料および二次覆工用コンクリートのそれを規定したものである。

(1) について コンクリートおよび鉄筋の許容応力度は、土木学会「鉄筋コンクリート標準示方書」170, 171 条を適用すればよい。コンクリートの設計基準強度  $f_{ck}$  は、二次覆工用コンクリートのごとき現場打ちコンクリートや、特に促進養生などを行なわないセグメントに対しては材令 28 日における圧縮強度を用い、工場製品であるセグメントに対しては、「鉄筋コンクリート工場製品設計施工指針(案)」4 条に定める圧縮強度を用いてよい。工場製品とは、遠心力、強力な振動、加圧、等を用いて締固めを行なったものや、促進養生を行なったもの、またはこれらの一部を併用して作成した製品をいう。なお、セグメン

トに使用されるコンクリートの設計基準強度は  $300 \text{ kg/cm}^2$  以上であるのが普通である。

(2) および (3) について 鋼材 および その溶接部の許容応力度は、日本道路協会「鋼道路橋設計示方書」および「溶接鋼道路橋設計示方書」の規定をもととして定めたものである。

規格証明書のない鉄筋 および 鋼材の許容応力度は、表 1 に準じ、鋼種に応じて表に示された値を越えない範囲で責任技術者が定めるものとする。

スキンプレートに  $3 \text{ mm}$  未満の鋼板を使用する場合には、SS 41 相当品を使用するのが適当である。しかし、熱間圧延薄鋼板を使用する場合には、その許容応力度は、責任技術者が定めるものとする。

(4) について 球状黒鉛鑄鉄の強度についての特徴は、普通鑄鉄に比較して引張強さ、および伸びが大きいこと、引張強さより圧縮強さが大きいこと、しかし、構造用鋼材に比べては明確な降伏点を有しないこと、等である。このため、許容応力度は、極限強さをもととして定めることとした。安全率には他の構造材料に準じて約 3 が用いられた。かくて許容曲げ引張応力度の上限は、FCD 45 の JIS 保証引張強さから  $1400 \text{ kg/cm}^2$  とし、許容曲げ圧縮応力度は約 2 割増しの  $1700 \text{ kg/cm}^2$  と定めた。許容せん断応力度は、材料の強さに対する最大ひずみ説によるものとして、その上限は  $1000 \text{ kg/cm}^2$  と定めた。

(5) について 「鋼道路橋設計示方書」27 条 6 によって SS 41 に準じて鑄鋼の許容応力度を定めたものである。

(6) について ボルトに作用する応力は軸断面について算出する。

ボルトの許容応力度は、4T の中ボルトについて定めたものである。このほかのボルトの許容応力度は 4T の引張強さを基準とする使用鋼材の引張強さの比率に応じて定めることができる。

### 2.3.2 許容応力度の割増し

一時的荷重に対しては、許容応力度を 2.3.1 に定めた値の 65% まで割増しすることができる。

【解説】 2.4.1 で規定する荷重の中には、ジャッキ推力、その他一時的な荷重がある。これらの荷重を考慮する場合には 2.3.1 で定めた許容応力度の上限を 65% まで割増してもよい。

### 2.3.3 材料のヤング係数

不静定応力、または弾性変形の計算に用いるコンクリート、鋼、鑄鋼、および球状黒鉛鑄鉄のヤング係数は表 6 のとおりとする。

表 6 材料のヤング係数 ( $\text{kg/cm}^2$ )

材	料	ヤング係数
コンクリート	$\sigma_{ck} = 180 \text{ kg/cm}^2$	$2.4 \times 10^5$
	$\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$	$2.7 \times 10^5$
	$\sigma_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$	$3.0 \times 10^5$
	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$	$3.5 \times 10^5$
鋼 および 鑄 鋼		$2.1 \times 10^6$
球 状 黒 鉛 鑄 鉄		$1.7 \times 10^6$

【解説】 コンクリートのヤング係数は、土木学会「鉄筋コンクリート標準示方書」116 条によることとし、これに示されていない範囲については、コンクリートのヤング係数と圧縮強度とが、ほぼ比例関係にあることから示方書に示された値をもととして定めた次の値を用いてよい。

解説 表 8

材	料	ヤング係数 ( $\text{kg/cm}^2$ )
コンクリート	$\sigma_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2$	$3.9 \times 10^5$
	$\sigma_{ck} = 600 \text{ kg/cm}^2$	$4.2 \times 10^5$

## 第 4 章 荷 重

### 2.4.1 荷重の種類

覆工およびセグメントの設計にあたっては、次の荷重を考慮する。

- (a) 土圧
- (b) 水圧
- (c) 自重
- (d) 上載荷重の影響

- (e) 内部荷重
- (f) 抵抗土圧
- (g) ジャッキ推力
- (h) 地震の影響
- (i) その他

【解説】覆工およびセグメントは、トンネルとして使用目的に供されたあとは、もちろん施工途中についても、その安全性と機能が満たされるように設計されなければならない。この観点から、設計の対象として考慮する荷重を列挙した。これらの荷重は、すべて静荷重として処理されるが、覆工およびセグメントが、施工過程に置かれている状態に応じて一時的に作用する荷重と長年にわたって作用する荷重とに区別される。

ジャッキ推力など施工途中において考慮する荷重および地震の影響は、一時的荷重として取扱われる。土圧、水圧、自重、上載荷重の影響、内部荷重、および抵抗土圧、等は、長年にわたって作用する荷重として取扱われるが、施工過程に応じて覆工に対する作用状況が変わるから、設計荷重の設定にあたっては、十分注意し、適用を誤らないようにしなければならない。

荷重は、設計計算法の現況が説明できるほどに定めたにすぎず、その内容については将来の調査、研究に待つところが多い。

## 2.4.2 土 圧

(1) 土圧の算定にあたっては、(a) 土と水とを分離して取扱う考え方と、(b) 水を土の一部として包含する考え方とが行なわれている。

(2) 覆工の頂部に作用する土圧は、鉛直方向の等分布荷重とする。その大きさは、トンネルの土かぶり、直径、および地山の条件、等を加味して定めるものとする。

(3) 覆工の両側部に作用する土圧は、覆工横断面の図心直径にわたって分布する水平方向の等変分布荷重とし、その大きさは、鉛直方向の土圧に側方土圧係数を乗じて算定するものとする。

【解説】覆工に作用する土圧は複雑であって、これを正確に推定することは困難である。

設計計算法として通常行なわれている簡便な考え方を示したもので、まずトンネルにかかる土圧のうち、トンネルの変形に関係なく定める設計計算法用土圧を規定している。

トンネル底部に作用する土圧は、たとえトンネルの変形に関係なく定まっても、反力の土圧として抵抗土圧(2.4.7 参照)で取扱われる。

(1) について トンネルの変形に関係のない土圧には水圧もその一部として包含することができるし、また水圧の不明確さをもって土圧の算定にこれら二つの考え方が実用されている。設計に際していずれの考え方が妥当であるかは即断できないが、(a) では土と水の力学的挙動が互いに独立であると考えることができるから、(a) のほうが矛盾は少ないようにみえる。

(a) においては土の単位体積重量は、地下水位以上では湿潤重量、地下水位以下では水中重量を用いる。(b) においては地下水位以上では(a)と同じであるが、地下水位以下では水を含めた単位体積重量を用いる。

(2) について 長年にわたってトンネルに作用する土圧を対象とする場合には、土かぶりがトンネルの外径に比して浅いならば、土のアーチング効果は、期待しないほうがよいと考えられるから、粘土質土はもちろん、砂質土においても、設計計算法用土圧にゆるみ土圧を採用することは、問題が多いと思われる。しかも地山の条件によっては埋戻し管に働く土圧の様相さえ呈することもあると思われるから注意を要する。しかし、土かぶりがトンネルの外径に比して深くなると、砂質土においては、土のアーチング効果に比較的信頼が置けるようになるから、設計計算法用土圧にゆるみ土圧を採用することも可能になる。ゆるみ土圧の計算法には、テルツェギの式\*、その他が利用されている。一方、やわらかい粘土質土においては、トンネルの全土かぶり重量が、土圧として作用した記録があるから、深いトンネルにおいても長年にわたって作用する土圧を推定するにあたっては、注意が肝要である。

セグメントリングが、シールドテールから離れた時点から注入された裏込め材が硬化するまでの間、セグメントリングは許容される変形内にとどまるように保持されなければならない。この間の検討にあたって考慮すべき荷重は、トンネルの土かぶり重量と直径との相関関係や地山の条件、等によって多様であるから、その推定については、責任技術者の判断にゆだねられなければならない。

(3) について ここに用いる鉛直土圧は、トンネル掘さく前の原地盤に存在する鉛直土圧でないことに注意しなければならない。(2) で決定した設計計算法用土圧が、トンネル頂点を通る水平面のサーチャージとして作用するとし、これにトンネル頂点から測った深さに比例する土の自重を加えた鉛直土圧を利用することが多い。

側方土圧係数は土質はもちろんのこと、設計計算法との関連において定めるべきである。抵抗土圧を考慮しない場合には、側方土圧係数として、静止土圧係数を選定することも可能である。抵抗土圧が期待できる場合には、側方土圧係数に主動土圧係数をあてるか、または、上述の静止土圧係数を多少割引きして考えているのが実状のようである。



\* Terzaghi: “Theoretical Soil Mechanics”

### 2.4.3 水 圧

(1) 鉛直方向の水圧は、等分布荷重とし、その大きさは、覆工頂部に関しては、その頂点に作用する静水圧、底部に関しては、その底点に作用する静水圧を標準とする。

(2) 水平方向の水圧は、等変分布荷重とし、その大きさは静水圧とする。

【解 説】 この項は、2.4.2 の土圧の算定において土と水とを分離して考える場合に適用する。

地下水位以下における土の重量に水中重量を用いるならば、水圧には、静水圧を採用するのが妥当である。しかしながら、ここでは設計計算の簡略化をはかるために 2.1.3 にもとづいて水圧の分布形式と大きさを土圧にならって定めることにした。

覆工頂部に作用する鉛直方向の設計計算用水圧には、その頂点の静水圧を採用することが多いが、覆工構造の安全性に対する配慮から水平直径点、あるいは底点の静水圧を採用する場合もある。

トンネルの掘さくに伴って低下した地下水面は、トンネルの完成によって再び掘さく前の状態に復元すると思われる。したがって、長年にわたって作用する設計計算用水圧には、原地盤における静水圧を採用するのがよい。トンネルの施工途中においては、水圧は、状況によって考えればよく、圧気工法を用いる場合には、無視された例もある。

鉛直方向の水圧の差は、浮力として作用する。覆工頂部に作用する鉛直方向の荷重の和が浮力より小さい場合には、覆工頂部の地盤に反力の土圧が発生し、浮力に抵抗することになる。このような現象は、トンネルの土かぶりが見え、かつ地下水位が高い場合に現われやすいから注意を要する。

### 2.4.4 自 重

自重は、覆工横断面の図心線に沿って等分布する鉛直方向の荷重とする。

【解 説】 箱型セグメントのように、自重の分布が、図心線に沿って一様でない場合には、平均重量を用いればよい。

### 2.4.5 上載荷重の影響

上載荷重の土圧への影響は、土中の応力伝ばを考慮して定めるものとする。

【解 説】 地表面にのる荷重の地中応力に与える影響は、深さとともに減少するから、覆工に作用する土圧の上載荷重による影響もまた、土かぶりが多いほど軽減すると考えられる。しかしながら、現象は複雑多岐であるため、その程度を規定するのは困難であるとし、本条には、単に上載荷重の影響の処理法に対する基本的姿勢のみを与え、具体的な取扱いについては、責任技術者の判断にゆだねることとした。

### 2.4.6 内 部 荷 重

内部荷重は、覆工の内側に作用する荷重で、その実態に応じて定めるものとする。

【解 説】 シールド テールから離れたセグメント リングは、裏込め注入前には、円筒ばり、またはシェルとして挙動する。シールドの後方台車、ずりトロなど施工に関連した諸設備が、この部にのる場合には、これらを内部荷重として構造の安全性が確かめられなければならない。しかし、裏込め注入が完了すれば、ことにやわらかい地盤を除いて、これらの内部荷重は、周辺の地盤によって直接支持されると考えてよい。

トンネル完成後に作用する内部荷重は、トンネルの使用目的によって異なる。鉄道車両のように覆工底部にのる内部荷重は、上記と同様に周辺の地盤によって直接支持されると考えられる。ただし、トンネル内に懸架される荷重、圧力トンネルの水圧など覆工の強度と変形に影響すると考えられる内部荷重については、実状に応じて荷重を設定し、必要な検討を行なわなければならない。

### 2.4.7 抵 抗 土 圧

抵抗土圧の発生範囲、分布形式および大きさは、設計計算法との関連から定めるものとする。

【解 説】 抵抗土圧とは、覆工に作用するすべての荷重のうち、独立に設定される荷重に対する設計計算用地盤反力の総称である。抵抗土圧は、通常、地盤の変位に独立に定ま

る反力と、地盤の変位に従属して定まる反力とに区別して考えられている。前者については、与えられた荷重につり合う反力の一部、または全部として、その分布形式と大きさを、あらかじめ設定するのが実状である。後者については、通常 Winkler の仮定に従い、覆工の地盤内への変位に比例して発生すると考えられている。

これらの抵抗土圧の分布形式と大きさは、設計計算法によって異なるから、参考として二、三の実例を示す。

慣用されている一つの計算法においては、鉛直方向の抵抗土圧は、地盤の変位に独立であるとし、一意的に規定されるすべての荷重につり合う反力であると考えている。一方、側方に作用する水平方向の抵抗土圧は、覆工の地盤内への変位に伴って発生するとし、覆工の水平直径に対して上下 45° の中心角の範囲に水平直径点を頂点とした三角形分布の抵抗土圧を仮定している。そして、水平直径点上の抵抗土圧が、覆工の地盤内への水平変位に比例して発生すると置くのが一般である。

これに対して抵抗土圧は、すべて覆工の地盤内への変位に比例するとし、抵抗土圧に半径方向の成分のみを認めると同時に、変位が覆工の内側に向う部分には抵抗土圧が発生しないとして構造力学的手法から弾性解を求める方法も行なわれている。

多ヒンジ系セグメントリングは、それ自体不安定構造物であるため、リングは、リング運動に伴う抵抗土圧の発生をまって安定な構造となる。したがって、抵抗土圧が、リングの地盤内への変位に応じて発生すると仮定するのは、妥当のようにみえるが、地盤の状況によって、その一部は地盤の変位に独立に定まると考えることができる。この場合に分布形式と大きさを規定すれば、土圧と同一の処理が可能となる。

なお、地盤の変位に関連して発生する抵抗土圧は、注入剤の硬化をまってはじめて効果が期待できるものであるから、設計計算にあたっては、施工の段階に注意して適用を誤らないようにしなければならない（土木学会編：トンネル工学シリーズ 3・第 3 回トンネル工学シンポジウム「セグメントの設計について」参照）。

#### 2.4.8 ジャッキ推力

ジャッキ推力は、シールド推進用ジャッキの設計推力とする。

【解説】 ジャッキ推力は、シールド ジャッキの推力に対する反力として施工中セグメントに短時間作用するにすぎない一時的荷重である。

セグメントの設計計算にあたり、シールド ジャッキの推力は、シールド推進にあたって常時必要と考えられる最大推力とする。特別の場合には上記の推力を越すこともあると思われるが、この場合にはセグメントはそれに即応できないから、あらかじめ補強法など対

策を考慮しておく必要がある。

シールドジャッキの推力については 3.4.1 を参照のこと。

#### 2.4.9 地震の影響

地震の影響は、トンネルの土かぶり、地山の条件その他、必要な項目を加味して定めるものとし、その具体的な処理法については、責任技術者の判断にゆだねるものとする。

【解説】 トンネルに与える地震の影響については、設計計算に利用できるほど現象がまだ把握されていない。したがって、ここには、基本的姿勢として地震に対する、なんらかの配慮をすべきことを明示するとともに、その具体的な処理については責任技術者の判断にゆだねることとした。しかしながら、地山の条件や覆工構造が極端に変化するトンネル部分については、適当な対策が必要である。

#### 2.4.10 その他の荷重

覆工およびセグメントが、この指針に定められた以外の荷重を受ける場合には、それぞれ実状に即して荷重を設定し必要な検討を行なうものとする。

【解説】すでに定められた荷重は、覆工およびセグメントの設計計算にあたり常に主体となるものである。したがって、長年にわたって覆工に作用する荷重および施工中に作用する一時的な荷重について、特に重要でかつ共通性のあるものを取上げたにすぎない。その他の荷重とは、裏込め材料の注入圧、セグメントリングの真円保持用の器具 (4.3.5 参照)、地盤の不等沈下などの影響、あるいはリングの組立て作業中にセグメントに作用する荷重、トンネル軸方向の荷重、衝撃、等をさすが、その一部は、土圧、内部荷重、等に包含して取扱うこともある。覆工およびセグメントは、これらの荷重に対しても対処できなければならないことはいうまでもないから、ここに一条を設けて注意をうながし、責任技術者の判断により実状に応じて適宜荷重を設定し、必要な検討を行なうことにした。シールド トンネルの施工を安全かつ確実に行なうためには、事態に即応して、もれなく検討がなされなければならないことを銘記すべきである。

## 第5章 構造計算

### 2.5.1 荷重の選定

(1) 覆工およびセグメントは、施工途中の各段階および完成後の状態に応じた荷重に対して設計しなければならない。

(2) トンネル横断面内に対する設計荷重は、設計の対象となるトンネル区間内のもっとも不利な条件をもととして定めなければならない。

【解説】 覆工およびセグメントの設計は、トンネル縦断方向と横断方向との二方向について考えるべきであるが、主として、横断面内の強度および変形に対して検討しているのが実状である。

(1) について 施工途中の各段階および完成後の状態に応じて考慮すべき荷重の組合せは、覆工およびセグメントのおかれている状況に応じて考慮する必要がある。ここでいう各段階における検討とは、たとえば次に示すごときものをいう。

- a) 裏込め注入剤の硬化以前の状態におけるセグメントリングの自立，その他に対する検討。
- b) ジャッキ推力によるセグメントの耐力と変形に対する検討。
- c) 裏込め注入時，注入圧による横断面内のスキンプレーートの応力と変形に対する検討。
- d) 長年にわたって作用する荷重に対する完成時の覆工およびセグメントの耐力および変形に対する検討。

(2) について 荷重を設定するに必要な土かぶり および地山の条件などは、トンネル軸方向に対して変化するのが普通であるが、それに相応して覆工およびセグメントを設計することは、施工性と経済性との観点から好ましくない。しかし荷重の条件が、はなはだしく変わる区間では経済性を考慮してトンネルを区分し、その区間は同一の設計条件で覆工およびセグメントの設計をするのが一般的である。

### 2.5.2 断面力の算定

覆工の断面力は、その構造特性を考慮して計算するものとする。

【解説】 構造計算に用いるセグメントリングの半径は、その横断面の図心半径とする。

断面力の計算法としては、セグメントリングを曲げ剛性一様なリングと考える方法、および多ヒンジ系リングを考える方法とが使用されている。これらの方法の特徴は、継手の考え方とともに抵抗土圧をいかにリングの変形に対応させるかにある（土木学会編：トンネル工学シリーズ3・第3回トンネル工学シンポジウム「セグメントの設計について」参照）。

ボルト継手を有するセグメントリングは、継手によって剛性が低下するので、これを曲げ剛性一様なリングとして処理するにあたっては、千鳥に組んだ隣接セグメントを十分なリング継ぎボルトによって締め付け、隣接セグメントによる添接効果をあげるようつとめなければならない。

多ヒンジ系リングでは、セグメント継手はヒンジ構造と考えるが、組立て中の自立をはかるために補助手段を講ずるか、またはセグメント継手に多少の剛性を与え、みずからリングの形状を保持できるように工夫してもよい。この場合にボルト継手を用いるのも一方法であると思われる。

### 2.5.3 スキンプレーートの計算

スキンプレーートは、セグメントの構造特性に応じて設計するものとする。

【解説】 トンネルに作用する荷重は、スキンプレーートを通じて主桁または主桁に準ずる横リブおよび縦リブへ伝達される。したがって、スキンプレーートは、概念的には周辺を支持された矩形の板であり、その寸法から荷重は全面に作用する等分布荷重と考えることゝできるが、さらにその挙動を整理して、

- a) 四辺支持の矩形板に関する理論、
- b) 曲板の座屈に関する理論、
- c) 膜応力に関する理論、

などで近似し、一般に設計計算に利用している。

鉄筋コンクリート製箱形セグメントでは、その構造から a) の弾性設計法が適すると考えられる。鑄造セグメントにおいても同じく弾性設計法が望ましいが、伸びの大きい材質のセグメントでは局部的降伏を認めるか、あるいは極限設計を行なっているのが実状である。鋼製セグメントにおいてはスキンプレーートの肉厚に応じて前記の方法の中から選択して用いている現状である。

鑄造または鋼製セグメントを長年の使用に耐えるように設計する場合には、スキンプレーートに腐食代を考慮するか適当な防食工を施す必要がある。

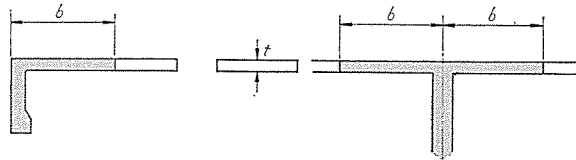
### 2.5.4 スキンプレートの有効幅

スキンプレート有効幅は、その構造に応じて責任技術者が定めるものとする。

【解説】 主桁、主桁に準ずる横リブおよび縦リブ（以下これらを主桁およびリブと略称する）は、スキンプレートの一部と協力して荷重を支える。

鋼、球状黒鉛鋳鉄および鋳鋼製セグメントのような薄肉のスキンプレートをもつ箱形セグメントの場合、その有効幅は、a) 対象とする応力状態、b) スキンプレートの板厚、c) 主桁およびリブの寸法、d) 主桁およびリブとスキンプレートとの材料または材質の相違、e) 主桁およびリブとスキンプレートとの結合方法、等によって異なり、統一的には決めにくいので、その実状に応じて責任技術者が定めなければならない。

主桁およびリブとスキンプレートとが同一の材料、材質でかつ強固に結合されている場合の有効幅  $b$  は、実験結果と日本建築学会「薄板鋼構造計算」、「設計施工規準」を参考にして次に示す値が一応のめやすを与える（解説 図 6 参照）。



解説 図 6

(1) 主桁の応力度およびリングの剛性の計算にあたっては、主桁または主桁に準ずる横リブ 1 本あたり片側

$$b=25t$$

(2) ジャッキ推力による縦リブの応力度の計算にあたっては、縦リブ 1 本あたり片側

$$b=20t$$

ただし、 $t$  はスキンプレートの肉厚で、腐食代を差し引いたものであるが、施工途中の荷重に対してはこの限りでない。

箱形コンクリートセグメントにおけるスキンプレートの有効幅は、土木学会「鉄筋コンクリート標準示方書」146 条による。

### 2.5.5 剛性の低下

剛性一様なセグメントリングの変形計算にあたっては、曲げ剛性の有効率をリングの構造特性に応じて定めるものとする。

【解説】 セグメントリングの変形を曲げ剛性一定のリングとして計算する場合には、リングの曲げ剛性は継手のためにセグメント単体の曲げ剛性より低下していると考えなければならない。単体の曲げ剛性に対するリングの曲げ剛性の百分率を、その曲げ剛性の有効率 ( $\epsilon$ ) という。曲げ剛性の有効率は、セグメントの種類、継手の構造形式、等によって異なる値をもつが、これを理論的に推定することは困難であるから、従来の実験結果を参照して経験的に推定しているのが実状である。

地盤内への変形に伴って発生する抵抗土圧を考慮して、セグメントリングの断面力を算定するにあたり、リングの曲げ剛性の有効率を過少に評価することは、リングの断面力を過少に評価することに通ずるから注意しなければならない。

### 2.5.6 主桁の応力

主桁の応力は軸力と曲げモーメントをうける真直材として計算する。

【解説】 セグメントリングの断面力は、箱形セグメントにおいては主桁および主桁に準ずる横リブを含む有効断面で受持たれる。平板形セグメントにおいては、セグメントの純断面を有効断面と考えてよい。

セグメントは曲がり材であるが、その曲率半径に対する主桁の高さの比は、通常 1/10～1/15 程度であるし、また箱形セグメントの主桁は縦リブで十分に補剛されているとみてよいから、主桁の応力計算にあたっては、単に組合せ応力を受ける真直材と考えてさしつかえない。

セグメントリングを曲げ剛性一様なリングと考えて断面力を算定する場合、セグメント継手の突合せ面に引張り応力が発生して継手が開口するならば、継手の剛性低下により伝達さるべき曲げモーメントの一部は、千鳥組みした隣接セグメントによって分担される。したがって、2.5.2 で算定した設計用断面力のうち曲げモーメントは、この分だけ割増して設計用曲げモーメントとする方式をとるのが望ましい。曲げモーメントの割増し率は、セグメントと継手の相対的剛性に支配され、軸力と曲げモーメントの組合せ状態によって変わると考えられるが、その理論的処理には困難があるように思われる。

### 2.5.7 継手の計算

セグメントの継手は、リングの断面力算定方式に応じて設計しなければならない。

【解説】 剛性一様なリングとしてセグメントリングの断面力を算定するならば、セグメント継手にはセグメント本体と同等程度の強度と剛性とを与えるべきである。しかし、これらの機能をボルト継手で満たすことは、實際上困難であるから、ボルト継手を利用するにあたっては隣接セグメントの千鳥組による添接効果で補うのが実状である。この場合にはセグメント継手を通じて伝達される曲げモーメントは、2.5.5に述べるごとく、隣接するセグメントで分担される分だけ軽減されることになる。したがって、継手の設計用断面力のうち、曲げモーメントについては主桁設計用曲げモーメントの割増し率を参照して割引きして考えることができる。

多ヒンジ系セグメントリングにおいては、セグメント継手はヒンジ構造となるが、施工上の便宜からリングの組立てができる程度には曲げに抵抗し、設計荷重に対してはヒンジとして挙動するように設計することもできよう。

リング継手は、セグメント継手における曲げモーメントの減少分を隣接セグメントに伝達できる剛性と強さを有するのはもちろんであるが、地震の影響や地盤沈下、等によるトンネルの縦方向の変状に対しても対策を講じておくことが望ましい。

なお、継手にボルト継手を利用する場合には、継手の設計が止水効果と施工性との関連において定まることがあるから注意を要する(2.6.1参照)。

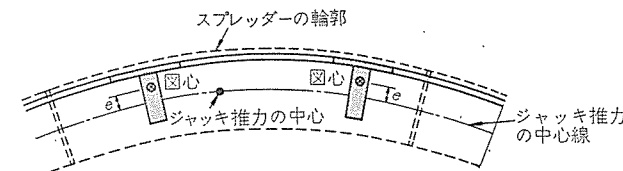
### 2.5.8 縦リブの計算

シールドジャッキの推力に対する縦リブの設計は、セグメントリングの半径方向にのみ偏心した軸力を受ける短柱として行なうものとする。

【解説】 縦リブは、シールドジャッキの推力受けとして設計されるが、主桁の補剛にも有効に働く。

ジャッキ推力は、スプレッダーまたはプレスリングでおおわれるセグメントリングの側壁における縦リブを含む有効断面で受け持たれる。各縦リブが受け持つ分担荷重は、ジャッキと縦リブの関係位置によって変化するが、簡単にはシールドジャッキの総推力を2.6.2に述べる縦リブの数で除した平均値をあてることができる。

ジャッキ推力の作用点は、一般に上述の有効断面の図心に対し、セグメントリングの



解説 図7 スプレッダーの場合

半径方向はもちろん切線方向にも偏心するが、後者の縦リブの応力に与える影響は2.6.2に述べるセグメントの構造細目と照して比較的小さいと判断される。したがって、本条では簡単のために、これを無視して計算できるものとした。半径方向の偏心距離の両極値は、シールドテール内で組み立てられたセグメントリングの変形によって、その頂部と底部に生ずることが多いから注意を要する。

裏込めを連続して注入する場合には、縦リブを含む下記有効断面は、ジャッキ推力のほかに注入圧による曲げモーメントを受けるとして設計する必要がある。

ジャッキ推力を受けるプッシュロッドの設計は、本条に準じて行なうことができる。

セグメントの推力試験が行なわれる場合には、責任技術者の承認を得て、試験結果からセグメントのジャッキ推力に対する許容耐力を定めてもよい。

## 第6章 設計細目

### 2.6.1 セグメントの形状寸法

セグメントの形状寸法を定めるおもな要素は次のとおりである。

- (1) セグメントリングの外径
- (2) セグメントの高さ
- (3) セグメント幅
- (4) セグメントリングの分割
- (5) ボルトの配置

【解説】 標準化の問題について セグメントの材質、形状、寸法、等についての規格化の必要性は、各方面で認識され、また要望されており、今後の重要な課題とされている。

- (1), (2) セグメントリングの外径とセグメントの高さについて セグメントリ

ングの外径の大きさは、1.3.1 に述べているように、トンネル内空と覆工厚（セグメント高さ、二次覆工厚、等）から決められる。

セグメントの高さは、おもにトンネル断面の大きさと、土かぶりなどにより決まるが、シールド推進用ジャッキ推力に支配される場合もある。

実施例（土木学会編：トンネル工学シリーズ 4、わが国シールド工法の実施例・第1集）によると、50～600 mm の範囲にある。

**(3) セグメントの幅** セグメントの幅は、その運搬および組立て上の便利さ、シールドの曲進施工、シールド テールの長さ、等の関係からは、なるべく小さいほうが望ましく、一方、トンネル延長あたりのセグメント製作費の低減、工程の促進、漏水などの弱点となりやすい継手箇所への減少、その他ボルト数の減少などからは、セグメント幅は大きいほうが望ましい。

わが国シールド工法の実施例・第1集によれば、セグメントの幅はトンネル断面にもよるが、300～1200 mm の範囲にあり、750～900 mm が最も一般的に使用され、700 mm 以下は小断面トンネルに使用されている。

**(4) セグメントリングの分割** セグメントリングの構成は、数個のAセグメントと2個のBセグメントおよび頂点付近で最後に組み立てられるKセグメントからなるのが普通である（図2参照）。

ただし、Kセグメントの長さはA、B、Cセグメントに比べて小さくすべきである（2.6.7参照）。

セグメントリングの分割数は、製作および組立て速度の促進などからは、できるだけ少ないほうがよく、運搬や取扱いの便利さなどからは多いほうが望ましい。「わが国シールド工法の実施例・第1集」によれば、鉄道トンネルなどの大断面では7～10分割の範囲で8～9分割が多く、上下水道や電力通信など中小断面のトンネルでは4～9分割の範囲で6分割程度が一般的である。

**(5) ボルトの配置** セグメント組立て用ボルトにはセグメント継ぎ用とリング継ぎ用がある。

継手には通常、数個のボルトを1列あるいは2列に配置するが、組立て時にボルトの締め付け作業が困難にならないよう注意する必要がある。

ボルトは一般に16～36 mm 程度の直径のものが用いられる。多ヒンジ系セグメントリングでは組立て時の自立とトンネル軸方向の連続性が確保できればよいと考え、リング継ぎ用に特殊なボルトを用いたり、セグメント継ぎボルトを用いないこともある。

ボルト継手によって止水効果を計る場合は、止水面が均等に締め付けられるようにボルトの本数と配置を考慮する必要がある。

## 2.6.2 縦リブ

セグメントリングあたりの縦リブの数は、シールドジャッキ数以上でなければならない。ただし、薄肉のセグメントにおいては、ジャッキ数の2倍以上とするのが望ましい。

【解説】 シールドのジャッキ推力をプッシュロッドで受ける場合には、本条の縦リブをプッシュロッドで読みかえればよい。

継手板はジャッキ推力に対して縦リブと同じ役目を果たすが、相接合した2枚の継手板は、1本の縦リブとみなさなければならない。縦リブの数が少ないと、ジャッキ推力は2.5.8に述べるように正しくセグメントに伝達されず、主桁などに不測の応力を発生させることになる。また、縦リブは各セグメントリングにおいてその通りが合うように配置しないと、ジャッキ推力により主桁に集中荷重が作用することになるから、このような配置は避けなければならない。鋼製セグメントのように薄肉セグメントにおいては、スプレッダーを常に2本の縦リブで支持するような対策を講じなければジャッキ推力の適正な伝達ははかれない。

## 2.6.3 継手構造

セグメントの継手構造は、組立ての確実性と作業性を考慮して定めるものとする。

【解説】 継手構造の選定を誤ると、セグメントリングの十分に信頼の置ける組立てが望みにくいばかりか、その作業能率にも影響して施工に不手際が起り、ひいては継手の機能をも損傷して覆工構造に弱点を招来する結果になる。したがって、継手構造細目を決定するにあたっては、継手がその機能を完全に発揮できるよう、あらゆる面から検討を要するが、特に組立ての確実性と作業性については注意しなければならない。

ボルト継手を有するセグメントリングを剛性一様なリングとして処理する場合には、セグメント継ぎボルトは可能な限り主桁に近く、また抵抗モーメントが大きくなるように配置するのが望ましい。ボルト継手におけるボルト孔は、大きいほどセグメントの組立て作業性を向上させると考えられているが、それはまた、セグメントにより大きい目違いを発生させる原因にもなるから注意しなければならない。鋼製または鋳造製の板材をボルト結合する場合のボルトの孔径は、「わが国シールド工法の実施例・第1集」によれば、解説表9に示すとおりである。また、箱形コンクリートセグメントにおけるボルトの孔径を、同

じく「わが国シールド工法実施例・第1集」から収録すれば 解説 表 10 で与えられる。

解説 表 9 鋼製または鑄造製の板材

ボルト径(mm)	13	16	18	19	22	25	28	32	35	36
ボルト孔径(mm)	16	18~24	21~22	20~26	23~27	30	33	39	40	41

解説 表 10 箱形コンクリート セグメント

ボルト径(mm)	28	32	36
ボルト孔径(mm)	32~37.6	36.8~42	44.4

ボルト継手を有するセグメントリングでは、継手による剛性低下がわざわざいって変形を誘起し、その組立てに支障をきたす場合がある。変形防止のために隣接セグメントによる添接効果を期待して、セグメント覆工は一般に千鳥組で組み立てられるが、なおその補助手段として真円保持用の器具(4.3.5 参照)が利用されている。

多ヒンジ系セグメントリングでは、組立てから裏込め注入が終るまでの変形を防止するため、その構造特性を侵さない継手を用いると同時に、変形防止の補助手段をも講ずることが望ましい。

#### 2.6.4 漏水防止

セグメントには原則として防水工を施すものとする。

【解説】 工事中の施工性、完成後の使用目的および脱水による地盤への影響などを考えて、トンネル内への漏水は防止することが望ましい。したがって、必要に応じてセグメントの継手面には漏水防止のために、あらかじめ工作を施すものとする。ボルト孔についてもまた同様である。防水工にはコーキングまたはパッキング(ガスケット)が使用されている。詳細については 4.3.7 参照のこと。

#### 2.6.5 注入孔

注入孔は、裏込め注入が均等に行なわれるよう配置しなければならない。

【解説】 注入孔を吊手として使用する場合は作業性も考慮して、その位置を決めなければならない。注入孔の径は、使用する注入剤を考慮して 36 mm 以上とするのがよい。

#### 2.6.6 吊手

セグメントには吊手を考慮しなければならない。

【解説】 セグメントの運搬と組立てには、ボルト孔や注入孔を利用するのが普通であるが、セグメントの種類によっては、吊手金具を設けるほうがよい場合がある。

#### 2.6.7 継手角度

Kセグメントの継手角度は、断面力の伝達と組立て作業性を考慮して定めなければならない。

【解説】 セグメントリングの閉合をそれが存在するトンネル横断面内で行なう場合には、Kセグメントにおける継手角度の合計は、2.1.4 の図に示す  $\theta_k$  より大きいことが必要である。継手角度  $\alpha$  は、一般に、

$$\text{等分に振り分けるとき} \quad \alpha = \frac{\theta_k}{2} + (2^\circ \sim 5^\circ)$$

$$\text{一側に片寄せるとき} \quad \alpha = \theta_k + (2^\circ \sim 5^\circ)$$

ととるのが実状であるが、作業性をそこなわないかぎり小さいほうが望ましい。

継手角度を大きくすると突合せ面が滑動しやすくなって軸力とせん断力の伝達が確保しにくくなる。ことに小口径のトンネルでは継手角度が大きくなりがちであるから、注意が肝要である。

Kセグメントをトンネル軸方向に送り込んでセグメントリングの閉合を行なう場合には、継手角度は不要となるが、閉合のために別途の考慮が必要となる。

#### 2.6.8 テーパー量

テーパー量は、トンネル線形および施工性、等を考慮して定めるものとする。

【解説】 特殊な曲線区間を除き、設計の対象となるトンネル区間内に用意すべきテーパーリング数は、曲線区間用のほかに直線区間の蛇行修正用として全リング数の 10% 程度といわれている。しかし、これらは一般に 1 種類のテーパーリングを共通に使用することが多く、またその最大幅は標準リング幅に等しくとるのが通例である。

テーパー量は、セグメント幅、覆工の外周半径、線形の曲率半径、および曲線区間での

テーパリングの使用割合のほか、テールクリアランスなどによって定まるが、「わが国シールド工法の実施例・第1集」によれば、おおよそ、次のごとくである。

解説 表 11 テーパー量, テーパー角

覆工の外径 $2R_0$	$2R_0 \leq 3\text{m}$	$3\text{m} \leq 2R_0 \leq 6\text{m}$	$6\text{m} \leq 2R_0$
テーパ量 (mm)	15~30	20~40	30~50
テーパ角	20'~50'	20'~40'	10'~30'

## 第7章 セグメントの製作

### 2.7.1 一般事項

- (1) セグメントの製作にあたっては特に寸法精度に留意しなければならない。
- (2) セグメント製作者は製作要領書および製作工程表を作成し、あらかじめ責任技術者に提出して承認を得なければならない。

【解説】(1) について 寸法精度は鑄造セグメントにあっては、鑄型および型わく、鋼製セグメントにあっては治具、コンクリートセグメントにあっては型わくの適否に支配されることが多い。

(2) について 製作要領書にはセグメントの材料、製造、検査、運送、等に関して必要な事項がもれなく記載されなければならない。また製作工程表は、製作工程の全容が容易に把握できるようにまとめる必要がある。

責任技術者は、提出された製作要領書および製作工程表について十分検討し、疑義のないよう事前に製作者と協議しておかなければならない。

### 2.7.2 溶接

溶接によってセグメントを製作する場合は溶接の詳細を製作要領書に記載しなければならない。

【解説】製作要領書に記載する溶接の細目は溶接継手、溶接棒、溶接工、溶接姿勢、ひずみ取り、等である。

### 2.7.3 鑄造

鑄造によってセグメントを製作する場合は、鑄造の詳細を製作要領書に記載しなければならない。

【解説】製作要領書に記載する球状黒鉛鑄鉄品、および炭素鋼鑄鋼品の鑄造の細目は、溶解、鑄型、鑄造、後処理、熱処理、機械加工、品質管理の方法、等である。機械加工による仕上げ面の表面粗さは、通常 JIS B 0601 の荒仕上げ (▽) で 70S~140S とする。コーキング溝が鑄放しで、鑄張りなどのため極端な凹凸を生じた場合は、グラインダーまたはチッパーなどで平滑な鑄はだ程度にまで整正するものとする。

### 2.7.4 コンクリートの品質管理

コンクリートによってセグメントを製作する場合は品質管理の詳細を製作要領書に記載しなければならない。

【解説】コンクリートは品質管理が特に重要であるから、土木学会「コンクリート標準示方書」および「鉄筋コンクリート工場製品設計施工指針(案)」に従い、品質管理のための検査および試験を行わなければならない。

製作者はこれらの検査および試験を完全に実施できる設備をセグメント製作工場に付属して設け、専任の係員を配置するとともに、管理事項について責任技術者が指示した場合、その指示が適確に末端にとどき、かつ結果が遅滞なく復命されるよう、管理組織における指示伝達システムを整備しておかなければならない。

### 2.7.5 セグメントの寸法精度

セグメントの寸法許容誤差は責任技術者の指示に従うものとする。

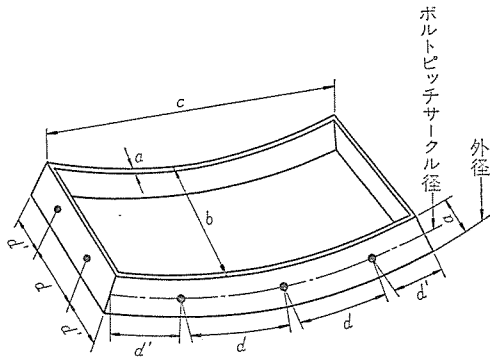
【解説】セグメントの寸法精度は材料、製作方法、使用目的により異なり、それぞれ特徴があって統一的に定めにくいのが、現在行なわれている許容誤差を例示すれば解説表 12 のようになる。寸法の計測には、ゲージ板、鋼尺および鋼巻尺、等を用いる。



解説 表 12 寸法許容誤差表 (単位 mm)

項目	セグメントの種類	鑄 造			コンクリート製			鋼 製	
		< 3	6~8	8 ≦	< 5	6~7	8 ≦	< 3	3 ≦
水平組立て時の真円度*	セグメントリングの大きさ(外径)(m)	< 3	6~8	8 ≦	< 5	6~7	8 ≦	< 3	3 ≦
	ボルトピッチサークル径	± 5	±10	±15	±10	±10	±15	±10	±10
	外 径	±10	±15	±20	±10	±15	±20	±10	±15
各部の肉厚 a		-1.0**			-0			***	
幅 b		±0.5			±1.0			±1.5	
弧長または弦長 c		±0.5			±1.0			+1.0 -1.5	
ボルト孔ピッチ d, d'		±0.5			±1.0			±1.0	

\* セグメントリング2段階以上として測定する。  
 \*\* 局所的な肉厚減少の限界を示す。  
 \*\*\* JIS に規定された鋼材公差のほかは -0



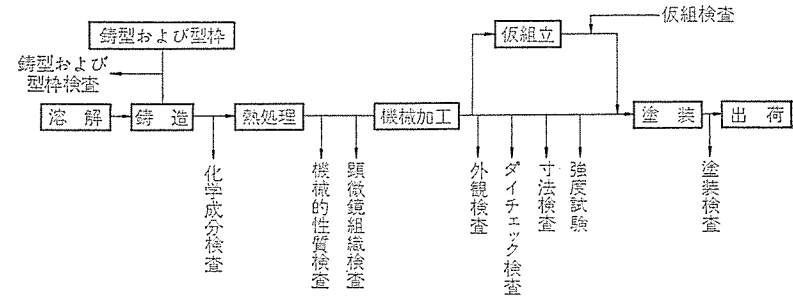
解説 図 8

2.7.6 検 査

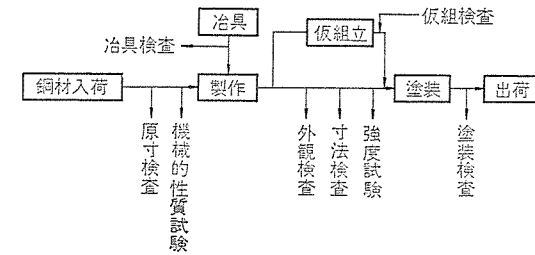
製作者が品質管理のために行なう検査のおもな項目は、次のとおりである。

- (1) 材料
- (2) 寸法および欠陥
- (3) 強度試験
- (4) リング仮組立て
- (5) その他

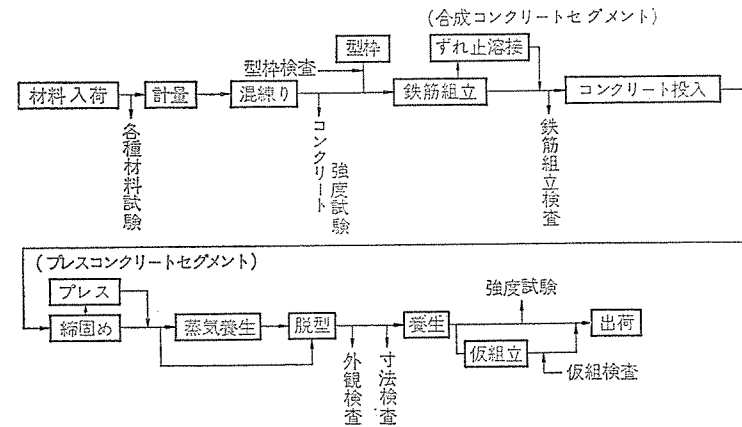
【解 説】 セグメントの製造過程における検査の例をあげれば次のとおりである。



解説 図 9 鑄造セグメント(球状黒鉛鑄鉄セグメント)の場合



解説 図 10 鋼製セグメントの場合



解説 図 11 コンクリート製セグメントの場合

### 2.7.7 セグメントの記号

すべてのセグメントには必要な記号を明記しなければならない。これらの記号は容易に抹消できるものであってはならない。

【解説】 セグメントには、必要な記号をその内側の見易い場所に現場組立ての終るまで消滅したり、識別しにくくならないよう適当な方法で明記しなければならない。記号は、製造番号、製作者名、標準およびテーパの別、A, B, K の別、テーパリングの場合のピース番号、製造期日、等である。

### 2.7.8 塗 装

セグメントには必要に応じて塗装を行なうものとする。

【解説】 塗装の防錆、防食の目的で行なうものである。

## 第8章 セグメントの貯蔵および運搬

### 2.8.1 一般事項

製作者はセグメントの貯蔵および運搬の計画書を作成し責任技術者に提出して承認を受けなければならない。

【解説】 セグメントの貯蔵に大きな敷地を要するし、その運搬に費用がかさみやすいので、製作者は貯蔵および運搬の計画書を作成するにあたって責任技術者と十分協議しておく必要がある。

### 2.8.2 貯 蔵

セグメントの貯蔵にあたっては損傷および腐食、等のないよう適当な防護方法を講じなければならない。

【解説】 鋳造および鋼製セグメントはその貯蔵にあたって、錆および ちり、油類、等の異物で汚損しないようにし、かつ永久変形を生じないように注意しなければならない。

またコンクリートセグメントは重量が大きく損傷しやすいので、貯蔵する場所や方法にとくに留意する必要がある。なお付属品は紛失しないように一定の場所に保管しなければならない。

貯蔵に関する注意は、製作工場と施工現場とを問わず適用されるものである。

### 2.8.3 荷 造 り

荷役、運搬中に損傷するおそれのあるセグメントの部分には適切な防護措置をとらなければならない。セグメントに付属する小物は、各種別に整理して梱包しなければならない。

【解説】 荷役、運搬中に損傷するおそれのあるセグメントの部分とは、コンクリートセグメントのエッジや隅角部、セグメントに張りつけた、パッキングやシール材などである。付属の小物類とはセグメント継ぎボルト、リング継ぎボルト、ボルト止水パッキング、等で、それぞれ梱包して内容物の種別、数量を明記するものとする。梱包1個の重量は50kgを越えないのがよい。

### 2.8.4 運 搬

セグメントは損傷しないように注意して運搬しなければならない。運搬中に損傷をうけたものの処理については責任技術者の指示に従うものとする。

【解説】 コンクリートセグメントは、エッジや隅角部が破損し易いので積み取りおろし中の取扱いおよび運送中のセグメントの置き方などに十分注意しなければならない。運搬中に破損したセグメントは責任技術者に無断で処理せず、必ず責任技術者に申し出て、その指示に従い、廃棄、改作、手直し、等の処置をしなければならない。