

## 第2章 耐震性能

## 2章 耐震性能

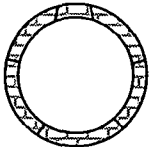
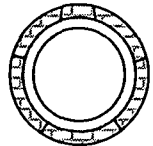
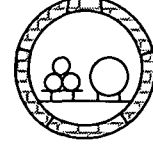

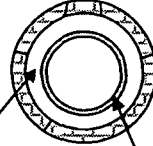
### 2.1 一般

シールドトンネルおよび立坑の耐震設計は、供用される施設の用途に応じて、必要とされる耐震性能を確保することを目標として行う。

#### 【解説】

シールドトンネルは道路・鉄道等の交通施設、上下水道・取排水路等の水道施設、およびガス・電気通信設備などの用途に使用され、それぞれの施設により表 2.1-1 に示されるように構造形式が異なる。また、付録技術資料 1 は各ライフライン事業者に対して、シールドトンネルおよび立坑の要求性能について、用途および想定地震レベル別にアンケートおよびヒアリング調査した結果を示したものであり、地震時および地震後に果たすべき役割および要求される機能も異なる。このため、供用される施設の用途に応じて、必要とされる耐震性能を確保することを目標として耐震設計を行うこととした。

表 2.1-1 シールドトンネルの構造と用途の分類例

シールドトンネルの構造		鉄道	道路	上水道	下水道	ガス	電力	通信
一次覆工のみ		○	○		○ (雨水)		○ (放水路)	
二次覆工あり		○	○		○		○ (放水路)	
二次覆工なし 点検通路方式				○		○	○ (ケーブル)	○
二次覆工+ 点検通路方式				○		○	○ (ケーブル)	○
中詰め方式	 I7E7外, 砂等 内管			○	○	○		

注) 近年、継手部やセグメントの改良・開発等により二次覆工を省略する傾向にある。  
下水道は雨水用、汚水用および合流用を含む。

## 2. 2 想定地震と性能規定

耐震設計は、シールドトンネルおよび立坑の供用期間中に発生する確率が高い地震動(レベル1地震動)に対しては健全性を損なうことなく、また供用期間中に発生する確率は低い、当該建設地点にとって最も脅威となる地震動(レベル2地震動)に対しては、それぞれの施設に要求される地震時および地震後の機能を維持できることを目標とする。

### 【解説】

#### (1) 地震発生メカニズム(地震の種類)

我が国は環太平洋地震帯に属する世界でも有数の地震国であり、古来より数多くの大地震に遭遇している。我が国における地震は、プレートの活動に直接起因する海溝型の地震と、活断層や火山による内陸型の地震に大別される。

近畿地方における海溝型の地震として、フィリピン海プレートがユーラシアプレートに潜り込むことにより生じる南海沖地震があげられる。南海沖に発生する地震は、表 2.2-1 に示すように東海沖に発生する地震と系列をなし、約100～200年ごとにマグニチュード8クラスの巨大地震が繰り返して発生している。

一方、近畿地方における活断層に起因する地震は、フィリピン海プレートおよび太平洋プレートからの圧力により内陸部に蓄積されたひずみエネルギーが、断層の破壊により解放されることにより発生する。同一活断層の活動間隔は、数百年～千年あるいはそれ以上とされている。この内陸部の地震活動は、南海沖地震前の40～50年間に活発化し、南海沖地震の発生によりその地震活動が収束し、安定期を迎えるとされている。図 2.2-1 に1854年安政南海地震と1946年南海地震の発生前40～50年間に発生した内陸型地震の分布とその規模を示した<sup>2)</sup>。

これらのことより、耐震設計の対象となる近畿地方におけるレベル2地震動として、南海沖地震と建設地点近傍の活断層による内陸直下型地震が想定される。近畿地方は1946年の南海地震後の静穏期が過ぎ去り、1995年兵庫県南部地震を始めとして2000年鳥取県西部地震などすでに活動期に突入しているとされている。このため、今から建設される構

表 2.2-1 関東以西の海溝型の巨大地震の系列<sup>1)</sup>

関東沖	東海沖	南海沖
818年 — —		684年 11月 29日
		887年 8月 26日
	1096年 12月 17日	1099年 2月 22日
		1361年 8月 3日
	1498年 4月 20日	
1605年 2月 3日	同日	1605年 2月 3日
1703年 12月 31日	1707年 10月 28日	1707年 10月 28日
	1854年 12月 23日	1854年 12月 24日
1923年 4月 1日	1944年 12月 7日	1946年 12月 21日

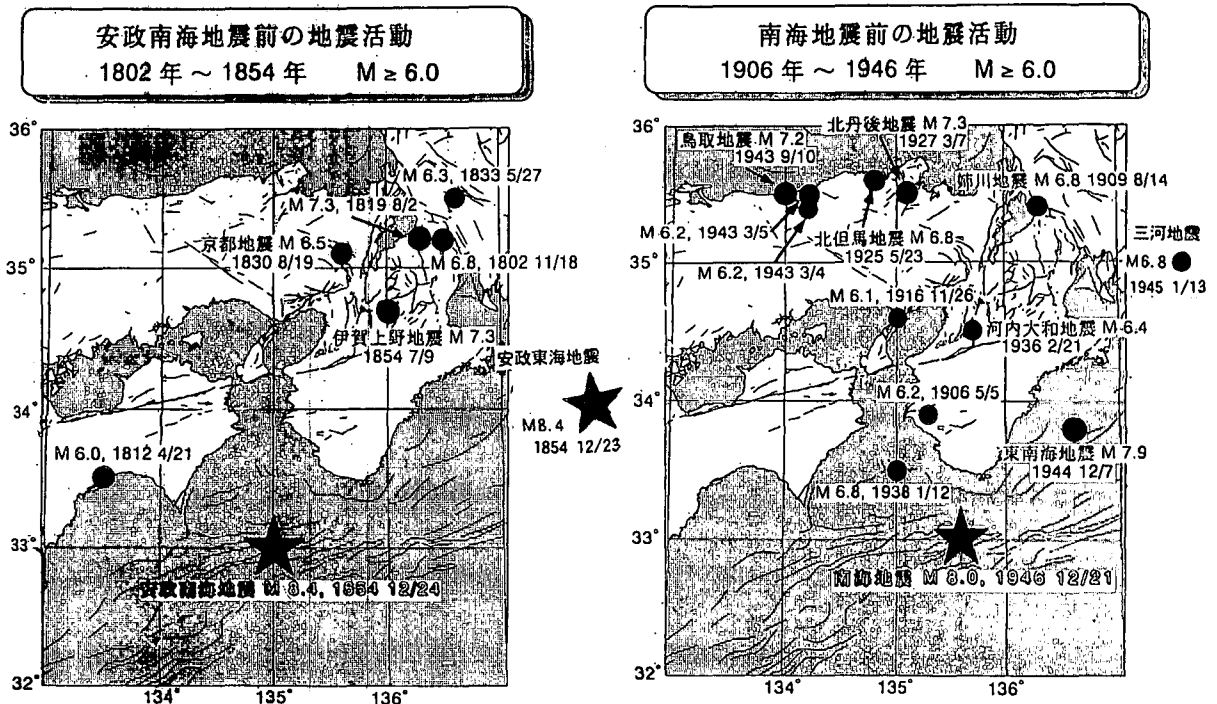


図 2.2-1 南海沖地震前の地震活動<sup>2)</sup>

造物はその供用期間中に必ず南海沖地震に遭遇するものとして設計されるべきであろう。

一方、断層地震は、同一の活断層において地震が発生する頻度は数百年～数千年に一回とされており、その構造物の脅威となる地震に遭遇する確率は低い、その構造物の用途、重要性、地震発生確率、被災時の被害規模等を考慮し、必要とされる耐震性能を設定して耐震設計されるべきである。このため設計すべき構造物の脅威となる活断層を特定し、その発生の有無、発生の可能性を明らかにすることが重要である。大阪府土木構造物耐震対策検討委員会ではレベル2地震動として南海沖で発生する海溝型地震と有馬・高槻構造線、上町断層系、生駒断層系、および中央構造線の活動による内陸地震を対象として検討を実施する決定論的手法により検討を実施している。これは「大阪地域の活断層調査が比較的進んでおり、地震動予測に必要なデータの入手が可能である。」との認識に基づくものである。一方、2000年鳥取県西部地震のように、その震源となった活断層がその時点では明確になっていない場合もあり、近畿地方全域に画一的に決定論的手法を適用できるかどうか疑問である。このため、本ガイドライン（案）では、脅威となる地震が明確にできない場所においても、マグニチュード6.5程度の地震が建設地点の直下に発生すると仮定し、断層地震の入力を設定することとした。

## (2) 構造物の耐震性能

“土木学会の提言”では、「レベル1地震動：構造物の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動（これが作用しても構造物が損傷しないことを要求する水準を示す）」「レベル2地震動：供用期間中に発生する確率は低い、大きな強度を持つ地震動（損傷過程まで立ち入って、構造物の耐震性能を照査する水準を示す）」と提言されている<sup>3)</sup>。本ガイドラインでは、“土木学会の提言”を基本として、レベル1地震動が作用しても構造物が損

傷しないこと、レベル2地震動については南海沖地震と内陸地震とを区別して、それぞれに対して必要とされる耐震性能を設定して設計することとする。耐震性能の設定については2.3で述べる。

### (3) 関西における活断層と発生確率

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震を契機として、全国の主要活断層を対象にした活断層調査が国の機関、地方自治体、民間などにより積極的に行われるようになった。関西においては、この兵庫県南部地震が起こった地域であり、同様な規模の大地震を起こす可能性がある活断層が数多く分布する地域でもある<sup>4)</sup>ので、詳細な活断層調査が精力的に展開されてきた。工業技術院地質調査所は平成10年度までに図2.2-2に示す25の活断層帯に関する調査成果のとりまとめを行い、表2.2-2に示すように、関西における各起震断層ごとの地震危険度評価結果を明らかにした<sup>5)</sup>。また、表2.2-3は表2.2-2に基づき、今後100年以内の地震発生確率の高さによって分類したものである<sup>6)</sup>。内陸地震による設計地震動の設定の際には、これらの資料や最新の調査研究成果<sup>7)</sup>などを参考にパラメータ等を設定するのが望ましい。

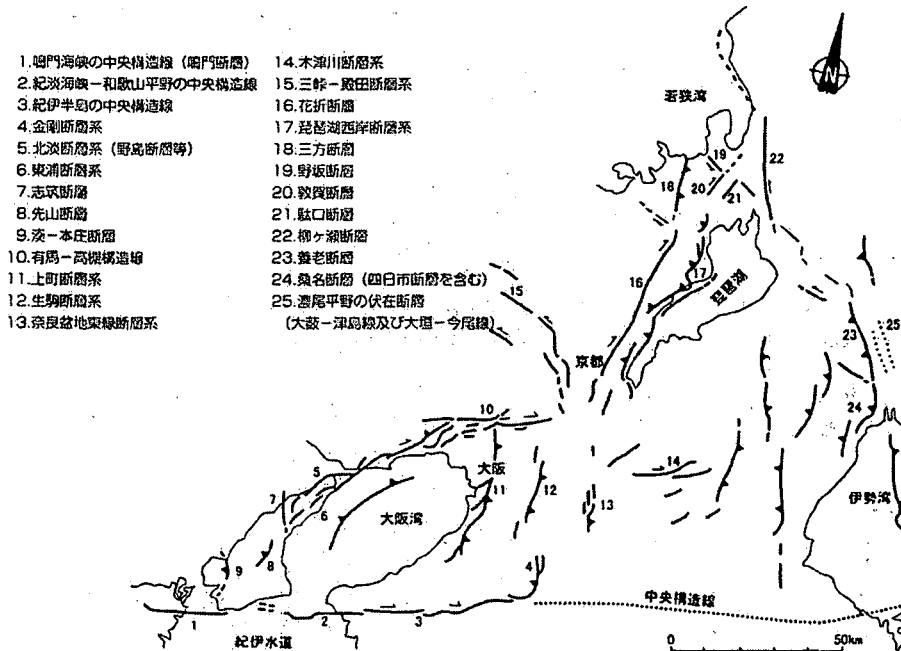


図 2.2-2 関西の活断層系<sup>5)</sup>

表 2.2-2 関西の主要活断層の断層パラメータと地震危険度<sup>5)</sup>

起震断層 (松田,1990を修正)	長さ (km)	活動セグメント	長さ (km)	平均変位速度 (m/ky)	単位変位量 (m)	最新活動時期 (ka)	再来間隔 (ky)	経過時間率	今後100年以内の 地震発生率(%)
1 MLT四国	180	1-1 鳴門海峡	25			2.5-3.5			
2 MLT和泉・金剛	94	2-1 紀淡海峡	30	0.8-1.0(V)	2-5.5(V)	3	5.5-6 <sup>#2</sup>	0.5	0.1-0.2
◇		2-2 根来	26	1.2-5.0(H)		1.7-3.7	2-3 <sup>#1</sup>	0.9-1.9	0.6-3.0
◇		2-3 五条谷	16						
◇		2-4 金剛	18	0.1-0.6(V)	1.5	1.6-2.0	2-12 <sup>#1</sup>	0.1-1	0.0-17
3 六甲	123	3-1 高槻	≥38	≥1.5(H)	5-6(H)	0.4 <sup>*1</sup>	2.5 <sup>#2</sup>	0.2	0.0
◇		3-2 六甲山	35	≥1.0(H)	≥1.5(H)	0.4 <sup>*1</sup>	1.2 <sup>#2</sup>	0.3	0.0
◇		3-3 北淡	20	0.5-1.9	1.6	0.01	2-3 <sup>#2</sup>	~0	0.0
◇		3-4 東浦	25	0.6-1.0	1.4	0.1 <sup>*1</sup>	1.4-2.2 <sup>#2</sup>	0.2-0.3	0.0
◇		3-5 先山	10	0.1-0.2(V)		0.4 <sup>*1</sup>	[2]	[0.2]	[0.0]
4 志筑	≥12	4 志筑	≥12	≤0.1(V)		≥20	≥20		
5 湊・本庄	≥19	5 湊・本庄	≥19	<0.1(V)		>4			
6 上町	44	6 上町	44	0.4(V)		≥15	≥15		0.0-5
7 生駒	34	7 生駒	34	0.2-0.4(V)	≥2.2	1.3-1.6	4-8 <sup>#1</sup>	0.2-0.4	0.0
8 奈良盆地東縁	≥12	8 天理	≥12	≥0.2(V)		1.3-1.0			
9 木津川	≥15	9 木津川	≥15	0.1-0.6(V)	2.2-2.6(V)	0.15 <sup>*2</sup>	>2 <sup>#2</sup>	<0.1	0.0
10 三峠	13	10 三峠	13			>1.7			
11 京都西山	43	11-1 志和賀	10			>3			0.0-4
◇		11-2 世木林	30			1.9-2.4	2.9-4.4 <sup>#2</sup>	0.4-0.8	0.0-7
12 琵琶湖西岸	65	12-1 櫻庭野	24	2(V)	3-5(V)	2.4-2.8	1.5-2.5 <sup>#1</sup> (4.8-6.8 <sup>#2</sup> )	1-1.9 (0.4-0.6)	12-38 (0.0-0.5)
◇		12-2 比良	41	≥1.5(V)		(0.3 <sup>*3</sup> )	[2]	[0.2]	[0.0]
13 花折	57	13-1 途中谷	27		2-5(H)	0.3 <sup>*3</sup>	[2]	[0.2]	[0.0]
◇		13-2 北白川	30			1.3-2.5	≥4.5 <sup>#2</sup>	≤0.6	0.0-0.3
14 三方	24	14 三方	24	0.2-1.0(V)	3-5(V)	0.3 <sup>*3</sup>	≥3 <sup>#1</sup>	≤0.1	0.0
15 野坂	32	15-1 野坂	≥6	0.1(V) <sup>#3</sup>	0.5(V) <sup>#3</sup>	<2 (0.3 <sup>*3</sup> )	<2 (0.3 <sup>*3</sup> )	<0.4 (0.1)	0.0
16 敷賀	16	16-1 筥の川	7			≥30	≥30		0.0-2
◇		16-2 黒河川	8	0.5-0.6(V)	1.5-2(V)	<1.5 (0.7 <sup>*4</sup> )	<1.5 (0.7 <sup>*4</sup> )	<0.5 (0.2)	<0.2
◇		16-3 駄口	9	0.2(V)	1-1.5(V)	0.3-0.6	0.3-0.6	≤0.1	0.0
17 柳ヶ瀬	72	17-1 椿坂峠	9			7-7.2	≥7		0.0-5
◇		17-2 余呉川	≥14		1(V)	0.7 <sup>*4</sup>	[2]	[0.4]	[0.0]
18 養老	63	18-1 養老	55	2(V)	5-6(V)	0.4 <sup>*5</sup>	1-2 <sup>#1</sup>	0.2-0.4	0.0-0.1

- 今後100年以内の地震発生率は、地震の発生間隔（再来間隔）の分布が対数正規分布に従い、標準偏差σが0.23と仮定した場合の値である。
- 地震発生確率0.0%は、少数第2位を四捨五入したものである。世木林セグメントが0.02%、六甲山セグメントが0.01%、その他のセグメントは全て0.01%未満である。
- この表に示した断層パラメータに基づくと、兵庫県南部地震を引き起こす直前の北淡セグメントの地震発生確率（100年以内）は2~15%であった。
- 先山、比良、途中谷及び余呉川の4セグメントでは再来間隔は得られていないが、周辺の他セグメントのデータから、少なくとも2千年以上と推定される。このため、再来間隔を2千年とした場合の経過時間率と地震発生確率を、再来間隔と共に [ ] 付きで示す。
- 最新活動後の経過時間が7千年以上、かつ再来間隔が不明な志筑、上町、筥の川、椿坂峠の4セグメントについては、再来間隔≥経過時間と見なした場合の再来間隔、経過時間率及び地震発生確率を斜字体で示す。
- 平均変位速度と単位変位量の(V)は上下成分、(H)は水平成分を示す。

#1: 平均変位速度と単位変位量から推定された再来間隔。  
 #2: トレンチ調査などによって認定された複数の断層活動（古地震イベント）の年代から得られた再来間隔。  
 #3: 表示してある上下変位よりも、横ずれ変位（未確定）が卓越する。  
 \*1: 1596年慶長伏見地震、\*2: 1854年安政伊賀上野地震、\*3: 1662年寛文地震、\*4: 1325年正中地震、\*5: 1586年天正地震。

表 2.2-3 関西の主要起震断層の今後 100 年以内の地震発生確率による分類<sup>6)</sup>

最大確率	該当する起震断層・活動セグメント
10%以上	12-1 櫻庭野*, 2-2 根来, 2-4 金剛
1%以上, 10%未満	4 志筑, 6 上町, 11-2 世木林, 16 筥の川, 17-1 椿坂峠
0.2%以上, 1%未満	2-1 紀淡海峡, 13-2 北白川
0.2%未満	3-1 高槻, 3-2 六甲山, 3-3 北淡, 3-4 東浦, 3-5 先山, 7 生駒, 9 木津川, 13-1 途中谷 14 三方, 15-1 野坂, 16-2 黒河川, 16-3 駄口, 17-2 余呉川, 18-1 養老
不明	1-1 鳴門海峡, 2-3 五条谷, 5 湊・本庄, 8 天理, 10 三峠, 11-1 志和賀, 12-2 比良

\*最小確率でも10%以上を示す

## 2. 3 シールドトンネルおよび立坑の要求性能と照査

(1) シールドトンネルおよび立坑の要求性能は、供用される施設の用途および構造形式に応じてその事業者が定めるものとする。シールドトンネルおよび立坑の性能を以下に示す段階に分けて、想定地震レベルごとにその要求性能を設定するものとする。

要求性能Ⅰ：地震後にも補修せずに機能を保持できる（使用限界）

要求性能Ⅱ：地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる（修復限界）

要求性能Ⅲ：地震によって崩壊しない（終局限界）

要求性能Ⅳ：地震によって崩壊する

(2) シールドトンネルおよび立坑は、原則としてレベル1地震動に対しては要求性能Ⅰを満足するように設計するものとする。レベル2地震動に対しては、人命およびトンネルの重要度、費用対効果等を考慮して設定した要求性能を満足するように設計するものとする。

(3) シールドトンネルおよび立坑の耐震性能の照査は、設定した要求性能に見合った部材の損傷およびトンネルと立坑の変形や許容値を指標に照査するものとする。これらの許容値はトンネルおよび立坑の用途および構造形式に応じ、損傷に伴う補修の難易性を考慮して定めるものとする。

### 【解説】

#### (1) シールドトンネルおよび立坑の要求性能

シールドトンネルおよび立坑はその用途・構造形式に応じ、地震時および地震後の果たすべき役割および要求性能については多様であり、それぞれの事業者がそれぞれの施設に対して、限界状態（使用限界、修復限界、終局限界）に応じた要求性能を設定し、その性能を確保することを目標として耐震設計を実施することとした。

要求性能Ⅰは、地震後のシールドトンネルの損傷が十分に小さい範囲にとどまり、かつ地震時あるいは地震後にトンネルに求められる能力が損なわれるような変形を生じず、耐荷力等に対する補修を行わず供用することができる限界（使用限界）内にその応答が収まることを想定しているものである。要求性能Ⅱは、地震後にシールドトンネルの機能が短時間で回復できる状態であり、修復が困難となる部材等の損傷を抑え、その他の部材や残留変形が修復可能な限界（修復限界）内にあることを想定しているものである。要求性能Ⅲは、地震後にシールドトンネルが修復不可能になったとしても、土圧、水圧やその他の上載荷重などによって、トンネルが崩壊しない限界（終局限界）内にその応答が収まることを想定している。

それぞれの要求性能に対する想定被害状況の例を表 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 要求性能と想定される被害状況

要求性能	機能被害	構造被害	状態
I 使用限界	機能維持	無被害 or 軽微な被害	地震後にも補修せずに機能を保持できる
II 修復限界	短期間で機能回復	限定被害	地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる
III 終局限界	長期機能喪失	著しい被害	地震によって構造物全体系が崩壊しない
IV 崩壊	機能喪失	構造損失	地震によって構造物全体が崩壊に至る

(2) 要求性能の設定

シールドトンネルは一般に重要度が高い施設等に適用され、また、地上構造物に比べて地震後の復旧や補修が困難であることより、原則としてレベル1地震動に対して要求性能Iを満足することとした。ただし、内管等の内挿構造物が独自に外力に抵抗するように設計されており、外殻となるシールドトンネルおよび立坑が仮設構造物と位置づけられている場合などは例外とする。

また、レベル2地震動に対しては原則として事業者が要求性能を設定することとするが、要求性能の決定の際には以下の因子について考慮する必要がある。

(a) 人が使用するかどうか

交通機関などシールドトンネルおよび立坑を人が常時使用する場合、地震時に人命を守ることが最優先される。また、頻繁に人による点検が行われる場合にも、最低限地震直後に避難ができる空間を確保しておくことが必要である。

(b) 費用対効果

耐震対策に関するコストと耐震対策によって得られるメリットを比較することにより耐震対策の定量的な評価を行い、レベル2地震動に対する要求性能決定の際に生かすことが望ましい。耐震対策に関するコストとは耐震設計により部材が大きくなったり、その他の補強・緩衝部材を設置する場合に必要な費用の増分であり、耐震対策によって得られるメリットには、復旧費用軽減や営業機会損失回避等が挙げられ、検討には費用便益法によるライフサイクルコストやネットワークにおける重要度・優先順位を考慮した総合的な分析が用いられることが多い<sup>8)~11)</sup>。費用便益法による分析の基本的な考え方と算出方法の例を付録技術資料2に示した。

ただし、これらの検討に際し、特に公共性が高い事業に対しては、公共の利便性の確保、環境保全等の項目を便益として評価することも考慮に入れる必要があると考えられる。

なお、シールドトンネルの用途別要求性能の考え方と設定例を付録技術資料3に示した。

(3) 耐震性能と照査

要求性能は構造物を構成する部材の損傷とトンネルの軸方向および横断面内の変形に区分し、それぞれに対して損傷と変形の許容値を設定することとした。

(2) で設定した要求性能を満足するためには、部材の損傷とトンネルの変形に関する許



容値を適切に設定する必要がある。部材の損傷に関する許容値については、シールドトンネル各部材の耐震上の役割を考慮して、個々の許容値を設定する必要がある。また、トンネル軸方向および横断面内の変形に関する許容値は、トンネルが果たすべき機能を適切に考慮して設定する必要がある。シールドトンネルおよび立坑の要求性能と部材の損傷とトンネルの変形に関する許容値の例を構造形式別に表 2.3-2～3 に示す。さらに、シールドトンネルの用途ごとに定まる機能面からの許容値を考慮に入れて、総合的に要求性能を設定する必要がある。

これらの考え方に基づいて耐震性の照査を行う場合には、シールドトンネルの損傷プロセスを考慮し、クリティカルとなる損傷部位を選定して、損傷部位ごとに行うのが望ましい。

これらの考え方に基づいた要求性能規定の流れの例を図 2.3-1～2 に示す。

表 2.3-2 シールドトンネルの要求性能と部材の損傷および変形の許容値の設定例  
(a) 一次覆工のみの場合 (点検通路方式等)

		要求性能Ⅰ	要求性能Ⅱ	要求性能Ⅲ	
部材の損傷	セグメント	RC	軽微なクラック程度 (防水性) 0.05mm 以下 (耐久性) 0.3mm 以下 <sup>12)</sup>	鉄筋降伏以内、あるいは部分的な補修・止水注入で対応可能な範囲	終局ひずみ以下
		鋼製	弾性範囲内	主桁の降伏あるいは座屈以内	座屈あるいは終局ひずみ以下
	セグメント継手	弾性範囲内	継手部の止水注入で対応可能な目開き以下	終局ひずみ以下	
	リング継手	弾性範囲内	継手部の止水注入で対応可能な目開き以下	破断しない 抜け出さない	
トンネル変形	横断面内の変形	弾性変形の範囲内	セグメント間の残留目開き量 ≤シール材膨張範囲あるいは継手部 止水処理で対応可能な範囲 変位≤建築限界等から決まる許容値	残留変位≤建築限界 等から決まる許容値	
	軸方向の変形	弾性変形の範囲内	リング間の残留目開き量 ≤シール剤膨張範囲あるいは継手部 止水処理で対応可能な範囲 折れ角≤機能面から決まる許容値	機能の回復が可能な 残留変位以下	

(b) 二次覆工ありの場合（点検通路方式等）

			要求性能Ⅰ	要求性能Ⅱ	要求性能Ⅲ
部材の損傷	RC	セグメント	軽微なクラック程度 (防水性) 0.05mm 以下 (耐久性) 0.3mm 以下 <sup>12)</sup>	鉄筋降伏以内、あるいは部分的な補修・止水注入で対応可能な範囲	終局ひずみ以下
		二次覆工	軽微なクラック程度	剥落しない	—
	鋼製	セグメント	弾性範囲内	主桁の降伏あるいは座屈以内	座屈あるいは終局ひずみ以下
		二次覆工	軽微なクラック程度	圧縮強度以下	剥落しない
		セグメント継手	弾性範囲内	継手部の止水注入で対応可能な目開き以下	終局ひずみ以下
		リング継手	弾性範囲内	継手部の止水注入で対応可能な目開き以下	破断しない 抜け出さない
トンネル変形	横断面内の変形	弾性変形の範囲内	セグメント間の残留目開き量 ≦シール材膨張範囲 変位≦建築限界等から決まる許容値	残留変位≦建築限界等から決まる許容値	
	軸方向の変形	弾性変形の範囲内	リング間の残留目開き量 ≦シール剤膨張範囲 折れ角≦機能面から決まる許容値	機能の回復が可能な残留変位以下	

(c) 中詰方式の場合

			要求性能Ⅰ	要求性能Ⅱ	要求性能Ⅲ
部材の損傷	セグメント	RC	軽微なクラック程度 (耐久性) 0.3mm 以下 <sup>12)</sup>	終局ひずみ以下	終局ひずみ以下
		鋼製	弾性範囲内	座屈あるいは終局ひずみ以下	座屈あるいは終局ひずみ以下
		セグメント継手	弾性範囲内	終局ひずみ以下	終局ひずみ以下
		リング継手	弾性範囲内	終局ひずみ以下	破断しない 抜け出さない
トンネル変形	横断面内の変形	弾性変形の範囲内	トンネルの残留変形 ≦内管の弾性範囲内	トンネルの残留変形 ≦内管の許容範囲内	
	軸方向の変形	弾性変形の範囲内	折れ角≦機能面から決まる制限値	機能の回復が可能な 残留変位以下	

表 2.3-3 立坑の要求性能と部材の損傷および変形の許容値の設定例

		要求性能Ⅰ	要求性能Ⅱ	要求性能Ⅲ
部材の損傷	RC	鉄筋降伏以内	部分的な補修・止水注入で対応可能な範囲	終局ひずみ以下
立坑の変形	横断面内の変形	弾性変形の範囲内	機能、能力が保持できる範囲内	残留変位≦建築限界等から決まる許容値
	軸方向の変形	弾性変形の範囲内	機能、能力が保持できる範囲内	機能の回復が可能な 残留変位以下

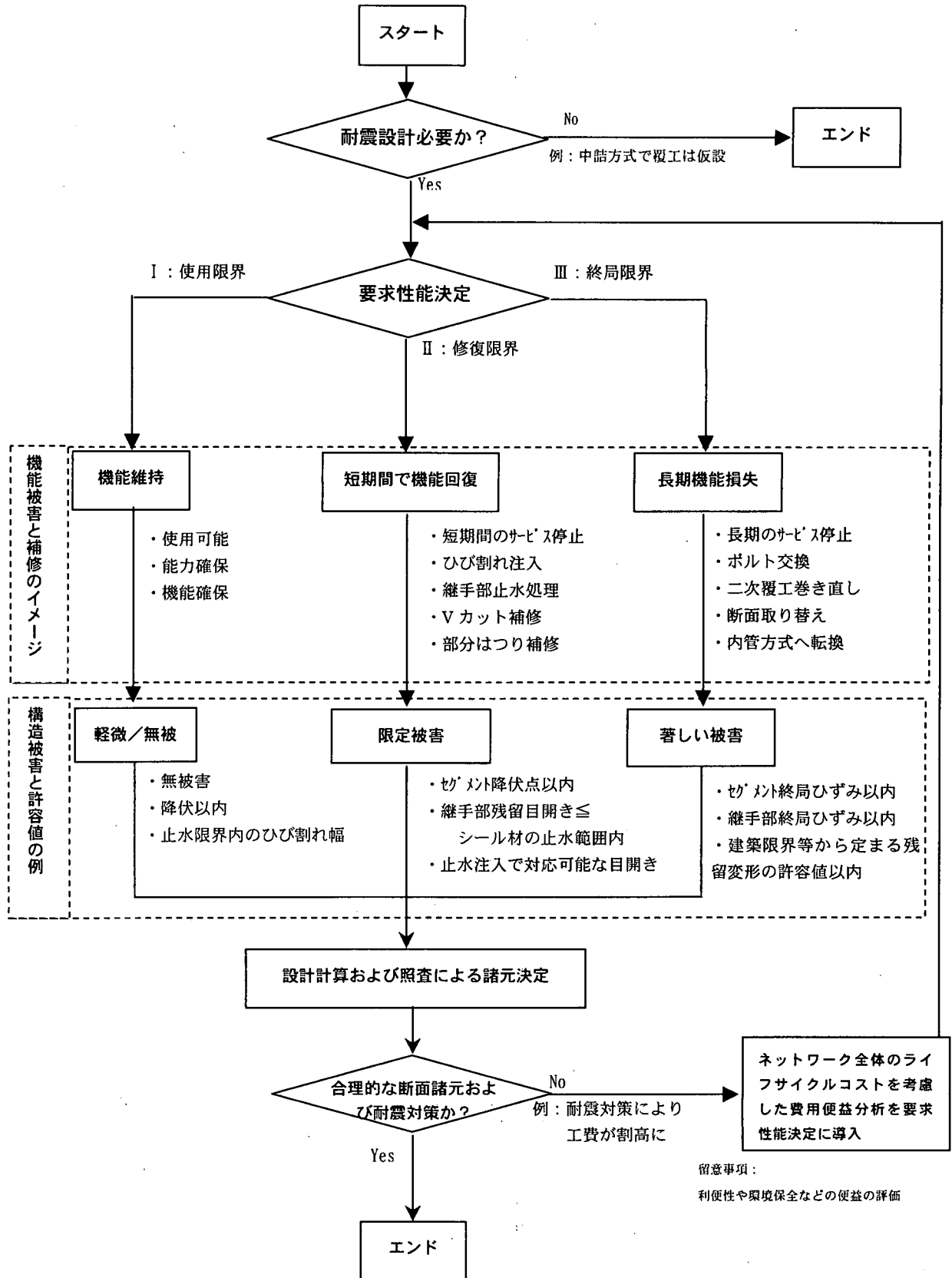


図 2.2-1 シールドトンネルの要求性能規定フローの例

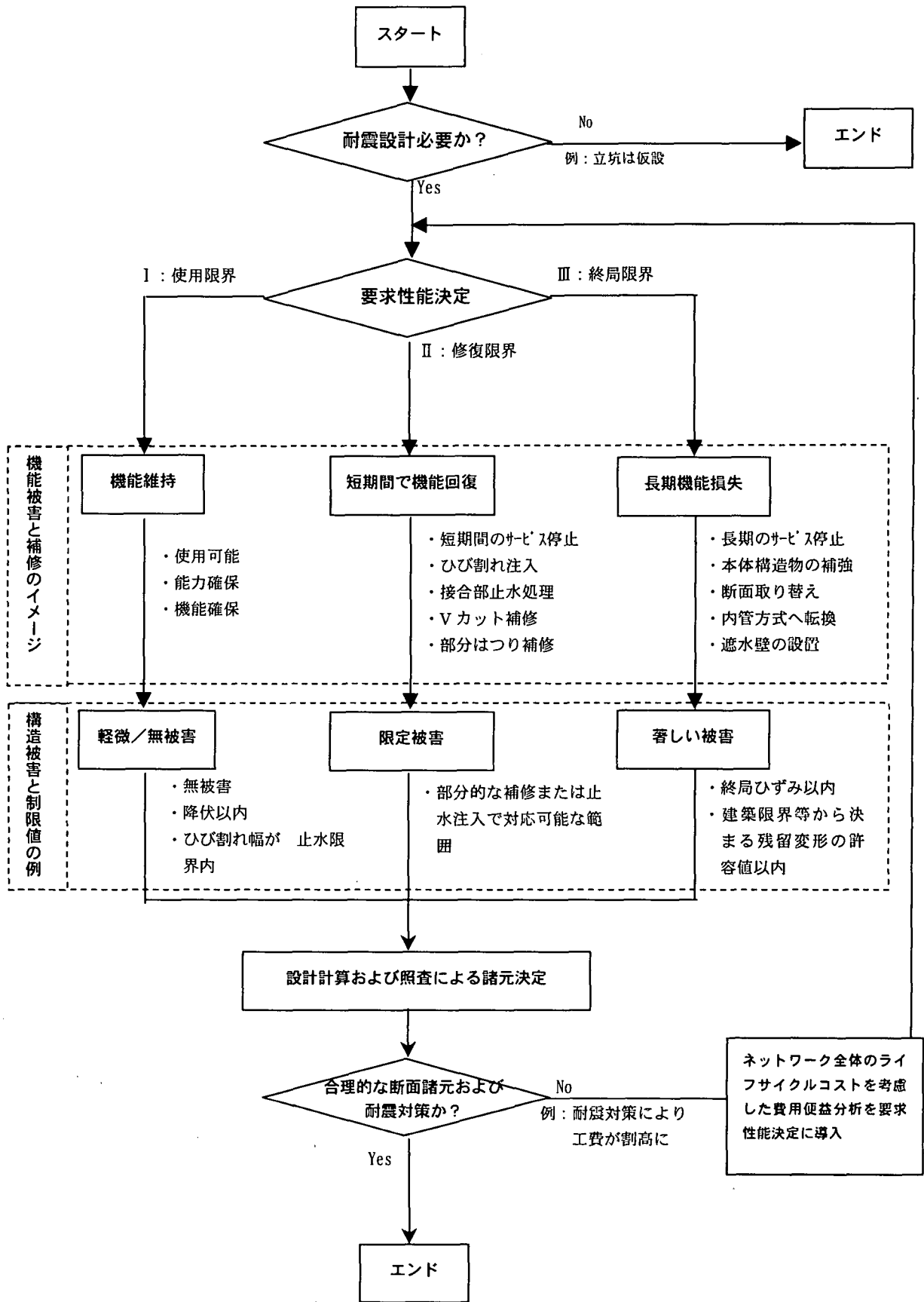


図 2.2-2 立坑の要求性能規定フローの例

## 参考文献

- 1) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，1987. 1.
- 2) 京都大学防災研究所：資料，1995. 1.
- 3) 土木学会耐震基準等基本問題検討会議：土木構造物の耐震基準等に関する『第二次提言』，土木学会誌，Vol. 81，1996.
- 4) 岡田篤正・東郷正美：近畿の活断層，東京大学出版会，2000.
- 5) 工業技術院地質調査所：近畿三角地帯における主要活断層の調査結果と地震危険度，第三回活断層調査成果報告会予稿集，科学技術庁，17-26，1999.
- 6) 杉山ら：近畿三角地帯における主要活断層の調査結果と地震危険度，地質調査所速報，no. EQ/99/3（平成10年度活断層・古地震研究調査概要報告書），285-309，1999.
- 7) 例えば，兵庫県：平成11年度地震関係基礎調査交付金 山崎断層帯に関する調査成果報告書，2000.
- 8) 市東・星谷：上水道システムの地震リスクマネジメント，土木学会論文集，No. 584/I-42，1998. 1.
- 9) 朱牟田・石田・当麻：費用便益分析による変電設備の耐震補強計画法，土木学会論文集，No. 584/I-42，1998. 1.
- 10) 野崎・杉田：社会基盤施設の耐震水準の合理的な設定法に関する基礎的研究，土木技術資料41-1，1999
- 11) 大住・運上：トータルコストに基づく土木構造物の要求耐震性能設定法に関する一検討，土木技術資料41-10，1999
- 12) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひびわれ調査，補修・補強指針，p63-87，1980. 5.