

### 3. 山地・土地造成における地震災害と耐震設計

本研究部会では、山地斜面および土地造成に伴う擁壁等の地震時被害と地盤特性に着目して、被害分析、検討、解析等を継続的に行ってきた<sup>1)</sup>。ここでは、宅地・斜面部での対策工施工時の斜面安定性や地震時挙動に与える影響、被災箇所における恒久対策、防災都市への備えに関する検討結果について述べる。

#### 3.1 宅地・斜面部での対策工を施工した場合の比較検討

斜面の安定対策工には地山補強土工、グラウンドアンカー工、杭工等があり、地震によって被災した斜面の復旧や事前の耐震対策として多く採用されている。ここでは、傾斜した基盤層上の斜面<sup>1)</sup>をモデルケースとして、対策工施工時の地震応答解析を実施し、対策工が斜面の震動特性や安定性に与える影響について検討した。

##### 3.1.1 解析方法

表3.1.1に解析ケースおよび設定した対策工の仕様を示す。図3.1.1は解析に用いた斜面の解析メッシュと地層構成を併せて示す。各対策工の配置を(b)~(d)に示す。Case2,3の対策工の仕様は(a)に示したすべり面が震度0.2を受けた場合の安全率が1.05となるように決定している。入力地震波形は、神戸大学での水平方向成分(E-W)の観測波である。解析は等価線形化法によって行い、鉄筋、アンカー tendon、杭、のり面工は弾性梁によってモデル化した。なお、解析手順、地盤定数の設定方法は文献1)と同様である。

表3.1.1 解析ケース

解析ケース	抑止対策工	のり面工
Case1	なし	なし
Case2	地山補強土工 鉄筋径：19mm 水平ピッチ：1.5m	コンクリート フレーム 100×100mm
Case3	アンカー工 (初期緊張力なし) tendon：E5-2 水平ピッチ：2.0m	コンクリート フレーム 150×150mm
Case4	杭工 杭：H鋼100:100 水平ピッチ：2.5m	なし

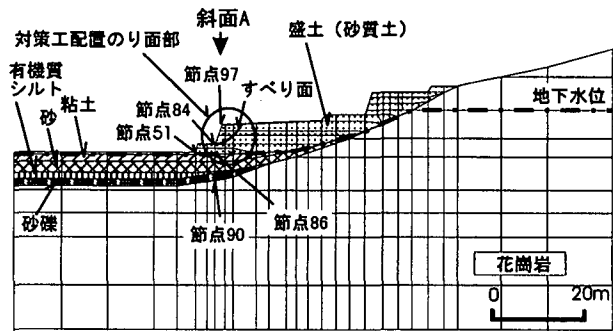
##### 3.1.2 解析結果

###### (1) 応答加速度波形、応答変位波形

図3.1.2は節点97（のり肩）での応答加速度波形および応答変位波形を示す。これより、応答加速度波形はいずれもほぼ同様な形状を示しており、対策工の有無、とか種類の違いによる影響等はほとんど見られない。一方、応答変位波形のうち負方向の変位（変位が負の場合、斜面は谷側方向に変形する）に着目すると、変位絶対値の大きさは

$$|Case1| \gg |Case2| > |Case3,4|$$

の関係となっている。即ちCase2~4の変位はCase1に比べ小さくなっており、対策工による変位の抑制効果のあることが分かる。さらに、Case2に比べCase3,4の変位が小さく、変位抑制の効果影響は地山補強土工に比べ、アンカー工や杭工の方が大きいと考えられる。



(a) FEMメッシュ (Case1)

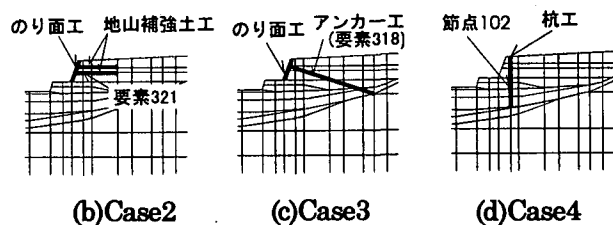


図3.1.1 FEMメッシュおよび解析ケース

###### (2) 最大加速度時における各種分布図

図3.1.3は節点97における最大加速度時における加速度分布を示す（以下の図3.1.4~6も同時刻を示す）。これより、Case1,2はほぼ同様な加速度分布であることが示される。これに比べCase3では加速度の大きい

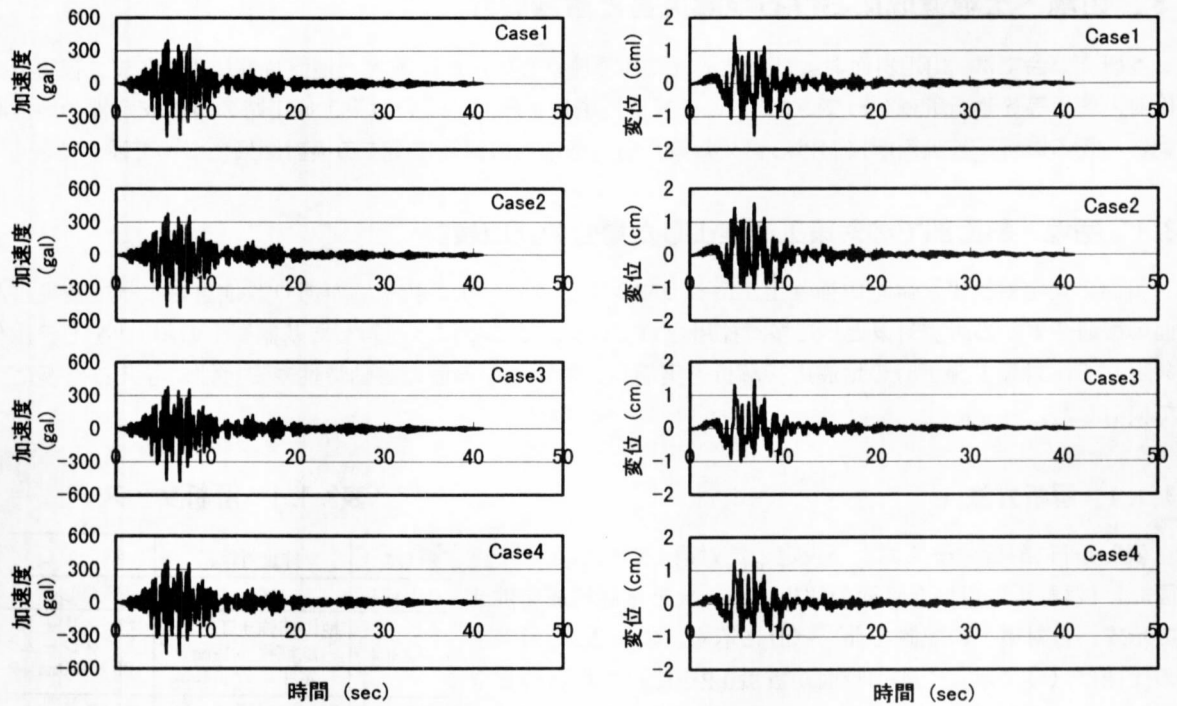


図3.1.2 応答加速度波形、応答変位波形

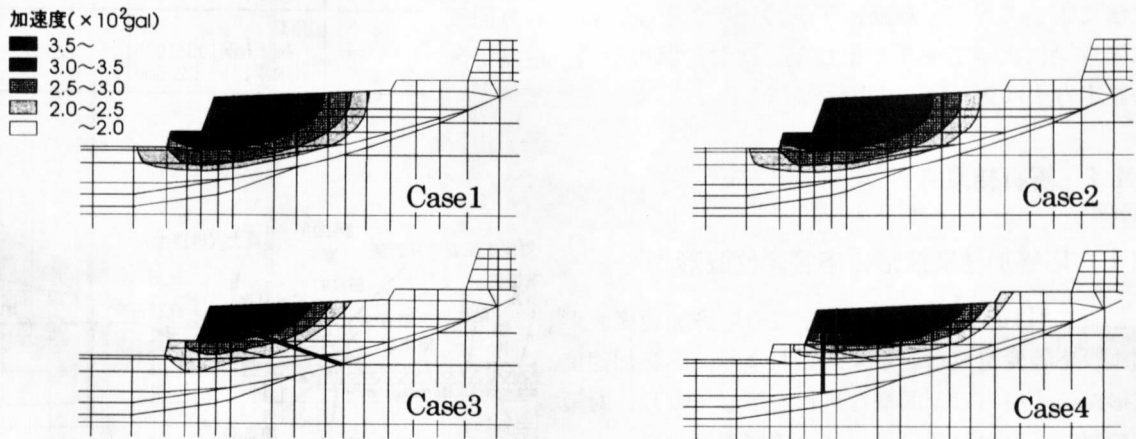


図3.1.3 応答加速度分布図 (t=5.74sec)

領域 (300gal以上) がやや狭まる傾向であり、Case4ではこの領域が深さ方向に狭く、水平方向に広がる傾向が見られる。図3.1.4は同時刻におけるのり面の変位分布を示しており、Case1,2はほぼ同様な変形を生じている。一方、Case3,4では変形が抑制され、対策工の効果が発揮されていることが分かる。これはCase2の対策工が応答加速度や変位の比較的一様な領域のみに配置されているのに対し、Case3,4では応答加速度や変位の大きい領域から小さい領域に渡って配置されているためであると考えられる。

図3.1.5は同時刻における斜面内部の局所安全率を示す。Case3,4はCase1に比べ0.6以下の領域が小さくなる等、対策工による安全率の増加が見られるが、Case2ではCase1とほぼ同様な安全率分布となっている。また、

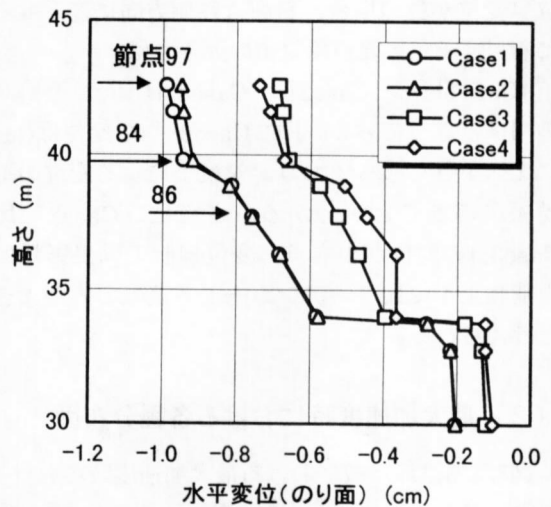


図3.1.4 水平変位分布図 (t=5.74sec)

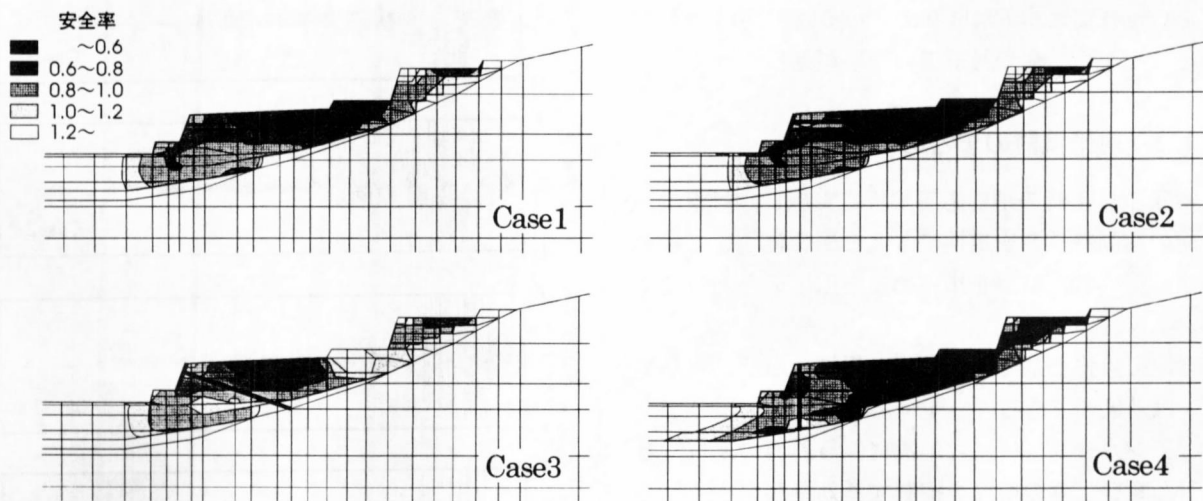


図3.1.5 局所安全率分布図 (t=5.74sec)

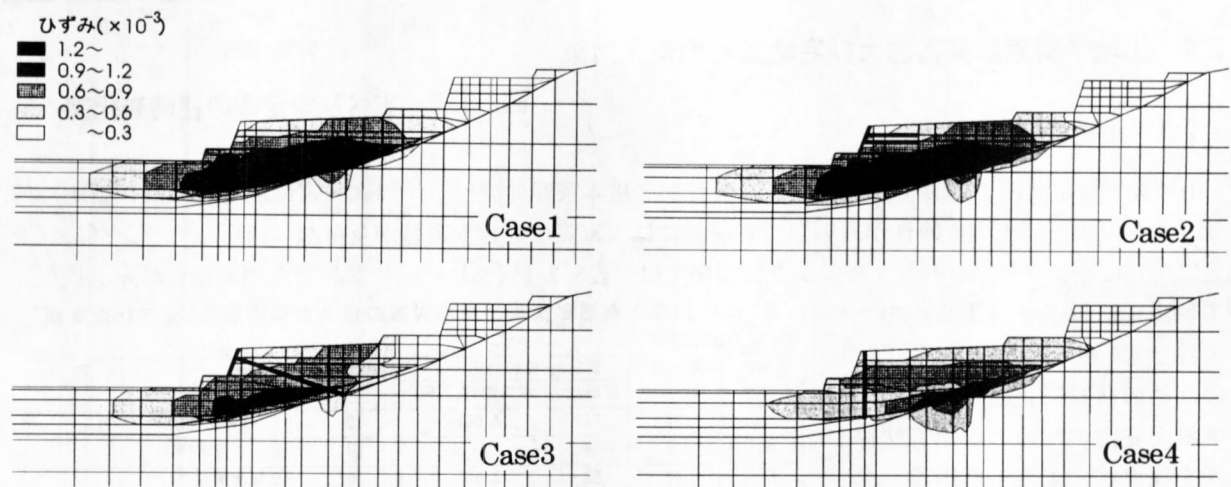


図3.1.6 せん断ひずみ分布図 (t=5.74sec)

図3.1.6は同時刻におけるせん断ひずみ分布を示す。これより、Case1とCase2はほぼ同様な分布であるが、Case3,4では明らかに基盤層境界付近でのせん断ひずみが小さくなる傾向が見られる。せん断ひずみの増加はすべり面の生成と密接な関係にあると考えられることから、対策工はせん断ひずみの集中する部分を貫くように打設するのが効果的と考えられる。

### (3) 対策工に作用する力

Case2~4における梁要素に作用する軸力および曲げモーメントに着目すると、Case3では20kN以上の軸力が作用しているのに対し、Case2では4kN以下となっている。即ち、Case3,4の対策工が地震時に地盤を拘束する方向に引張材や曲げ材として効果的に機能し、結果的に局所安全率を増加させたものと考えられる。従って、耐震対策工では、無対策時の応答加速度や応答変位が大きく変化する領域への配置が、斜面の安定性に効果的であり、応答加速度や変形の抑制に有効に働くと考えられる。

### (4) すべり安全率

図3.1.7は、図3.1.1に示したすべり面に対するCase1~4のすべり安全率 $F_s$ の経時変化を示す。 $F_s$ は地震応答解析で求めた応力と自重解析で求めた応力を重ね合わせ、これらの応力を用いてすべり面上でのせん断力とせん断抵抗力の和の比(= (すべり抵抗力/すべり力))として定義した。これより、Case2, 3

のFsはCase1に比べ相対的に大きく、Case4についてもCase1に比べFsが1.0を下回る回数が減少していることから、やや対策工の効果が見られる。

### 3.1.3 対策検討のまとめ

対策工施工時の地震応答解析を実施し、対策工が斜面の震動特性や安定性に与える影響について検討した。得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 地山補強土工については小規模な崩壊に対しては効果的である。
- ② アンカー工、杭工は地震に伴う斜面の変位やせん断ひずみの増加を抑制する効果が大きく、基盤層境界付近をすべり面とする大規模崩壊に対して効果的である。

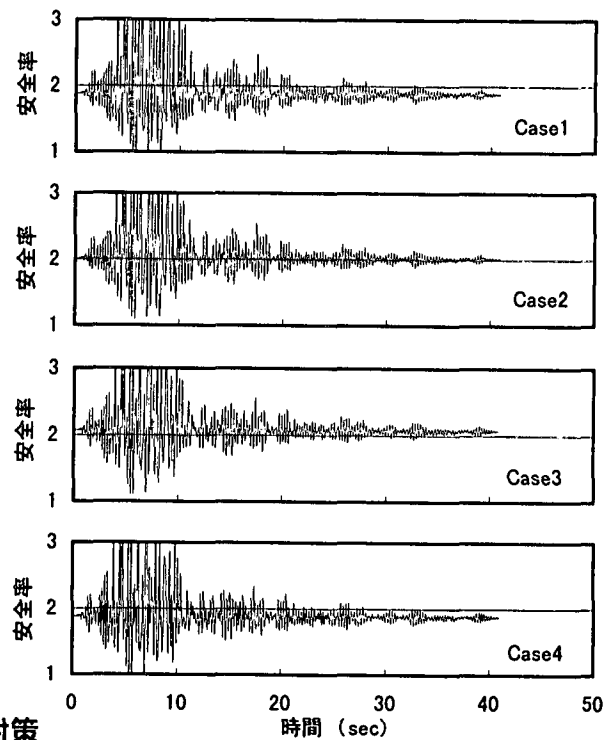


図3.1.7 すべり安全率の経時変化図

## 3.2 山地・斜面部災害および宅地災害の恒久対策

### 3.2.1 山地災害

山地災害は危険度に応じて、ランクA（土石が直接人家等に流出し、二次災害の危険性の高い箇所）、ランクB（土石流出の危険性が高いが、直接的には人家等に大きな影響が及ばない箇所）、ランクC（上記以外）にランク分けされた。各ランクについては、表3.2.1（a）に示す緊急対策が実施され完了した。

工種・工法は、土石流防止のための谷止工、不安定土石の落下防止のための落石防止柵付土留工、崩壊斜面安定のための現場打法枠工等を採用し、また工期短縮とコンクリート入手困難のため、鋼製枠工が採用された。

表3.2.1 山地・斜面部災害、宅地災害の恒久対策の緊急3ヵ年計画実績

(a) [山地災害]

ランク	箇所数	緊急3ヵ年の対応		残箇所	備考
		箇所数	事業費(百万円)		
A	14	14	4,681	0	H8.4月末完了
B	8	8	515	0	H8.10月末完了
C	52	52	3,007	0	H9年度未完了
計	74	74	8,203	0	

(b) [土砂災害]

種別	施工主体	緊急3ヵ年の対応		残箇所	備考
		箇所数	事業費(百万円)		
砂防	建設省	29	4,273	0	
砂防	兵庫県	11	1,440	0	
地すべり	兵庫県	8	6,155	0	
急傾斜	兵庫県	15	1,589	1	栢谷地区廃工
小計		63	13,457	1	
地域がけ	神戸市	6	173	0	
	三木市	1	67	0	
小計		7	240	0	
合計		70	13,697	1	

(c) [民間宅地擁壁]

市町名	種別	緊急3ヵ年の対応		残箇所	備考
		箇所数	事業費(百万円)		
神戸市	急傾斜	135	7,314	0	H9年度未完了
西宮市	急傾斜	23	1,171	0	"
	砂防	1	156	0	"
	小計	24	1,327	0	
芦屋市	急傾斜	4	208	0	"
宝塚市	急傾斜	6	356	0	"
	砂防	12	572	0	"
	小計	18	928	0	
明石市	急傾斜	9	404	0	"
三原郡三原町	急傾斜	1	103	0	"
合計		191	10,340	0	

### 3.2.2 土砂災害（砂防・地すべり・がけ崩れ）

地震時およびそれ以降に土砂災害が発生し、緊急に対策が必要な箇所については、災害関連緊急事業として表3.2.1（b）に示す対策が講じられた。

### 3.2.3 民間宅地擁壁

被災した宅地擁壁は個人の財産ではあるが、余震・降雨等による被害の拡大により、所有者以外の第三者あるいは公共施設に影響を及ぼすことが予測された。そこで、

二次災害の防止と民生の安定を確保するため、災害関連緊急事業の採択基準に特例措置を設け、表3.2.1(c)に示す擁壁等が復旧事業の対象とされ、施工された<sup>2)</sup>。従来、急傾斜事業の対象となっていなかった擁壁等の人工斜面が事業対象となったことが特筆される。

### 3.3 土砂災害に備えたまちづくり

山地部における自然斜面あるいは土地造成による人工斜面等の、斜面との身近な付き合い方がまちづくりに求められる。そこで、原地形を生かした植生による生活に潤いをもたらす緑地空間の創造、斜面からの湧水の共同利用等が考えられる。散歩ができ眺望を楽しみ、多くの人が斜面に親しみを感じ、斜面に現れた亀裂や湧水の量や濁りの変化を見つけることによって、日常的な観察から危険性を予知できる場合もある。緑豊かな斜面は、市街地から見れば快適な生活空間の一部であり、美しい都市景観の形成にも大きく寄与し、安心・安全の確保と質の高い緑地空間の創造、が求められる公共的な空間であると言える。また斜面の防災・緑地空間としての施策に、兵庫県豊岡市で進められた「わが町の斜面整備構想」がある。これは、①斜面の安全性確保、②良好な斜面環境や景観の保全と創出、③地域のニーズに応じた斜面の利活用、④「自分の命は自分で守る」ための諸方針の推進、等である<sup>3)</sup>。

災害を軽減する手段として、被災時の基準雨量の検討と情報提供、宅地防災に係る耐震設計の考え方、公共空間としての斜面整備「六甲山系グリーンベルト構想」について、以下に記述する。

#### 3.3.1 六甲山系震後土砂災害警戒・基準雨量の検討

阪神・淡路大震災により、六甲山系において多数の斜面崩壊、地盤の緩み等により土砂生産環境が変化し、地震後の降雨による崩壊や土石流の発生が懸念された。これらの災害を軽減すべく、兵庫県では平成7年4月に学識経験者からなる「兵庫県震後土砂災害警戒・避難基準検討会」を設立し、六甲山系を対象に基準雨量の検討を行い、その検討結果に準拠した情報提供が行われた<sup>4)</sup>。

基準雨量の検討は、六甲山系を6ブロックに分割して行われ、その結果土砂災害発生基準線(CL)を震災前の80%に下げた運用を実施した。平成7～9年度は、懸念された大きな土砂災害もなく、平成10年度は、7月に豪雨があったが人的災害がなかった。また、平成11年3月の検討会では全て震災前の基準に戻すことが可能であるとの結論が出された。

表3.3.1 兵庫県地震後土砂災害警戒・避難基準雨量(土砂災害発生基準線)

	が	け	土	石	流	備	考
平成7年以前(震災前)	Y=-0.36X+85.66		Y=-0.68X+182.0				
平成7～9年(震災後)	Y=-0.36X+68.53		Y=-0.68X+145.6			震災前の80%運用	
平成10年(震災後)	Y=-0.36X+68.53		Y=-0.68X+145.6			"	
平成11年(震災後)	Y=-0.36X+85.66		Y=-0.68X+182.0			震災前に戻す。	

X軸：実効雨量(半減期7.2時間) Y軸：雨量強度(半減期1.5時間)

\*平成10年は、一部の地区(有馬ブロック、北神ブロック、西宮西部・宝塚ブロックの船坂地区)については、震災前のCLに戻しても良いという結論が得られた。

#### 3.3.2 宅地防災に係る耐震設計の考え方

阪神・淡路大震災における宅地の被災実態等を踏まえて、宅地防災に係る耐震設計の考え方が検討された。ここでは「宅地防災マニュアル」の改訂に着目して、その内容について以下に述べる<sup>5)</sup>。耐震対策の基本目標については、土木学会の提言、建設省防災業務計画等との整合が図られ、地震動を中地震および大地震に分けて考慮することとしている。

- ①盛土のり面の地震時の安定計算は、常時の場合と同様に円弧すべり面法により、安全率は常時1.5、中地震時1.2、大地震時1.0以上である。
- ②鉄筋・無筋コンクリート造擁壁の安定・構造計算において、設計外力として地震力を考慮する。擁壁の転倒・滑動の安全率は常時1.5、中地震時1.2、大地震時1.0以上とする。擁壁基礎の支持力に関する安全率は、常時3(長期許容支持力)、中地震時2(短期)、大地震時1(極限)以上とする。

耐震設計の基本的な考え方として、耐震対策の必要な施設については、当該施設の要求性能等に応じて、適切な耐震設計を行う。盛土のり面、擁壁の安定性に関する検討は震度法により、地盤の液状化判定に関する検討は簡易法により設計を行うことを標準とし、必要に応じて動的解析法による耐震設計を行うこととしている。標準設計水平震度は、中地震時では従来からの一般的な値0.2、大地震時では阪神・淡路大震災による宅地擁壁やのり面等の被災状況調査結果を参考に総合的に判断し、0.25としている。

### 3.3.3 六甲山系グリーンベルト整備事業

阪神・淡路大震災によって六甲山系は、前述した如く降雨等によって新たな崩壊を引き起こす危険性があった。そこで、市街地に隣接する六甲山の山腹斜面一帯を一連の樹林帯として整備することによって、土砂災害に対する安全性を高めるとともに、緑豊かな都市環境や自然環境の保全・創出を図ることを目的として、六甲山系グリーンベルト整備事業が平成7年度から取り組まれている<sup>6)</sup>。

#### (1) 現状及び取り組み現状

- a. 都市計画：特に積極的な取り組みが必要な市街地に面する斜面を「防砂の施設」、「緑地保全地区」として都市計画決定し、平成10年7月31日に告示された。
- b. 直轄事業：用地については、平成7年度より取得に着手し、平成9年度までに「防砂の施設」のうち都賀川～住吉川の取得をほぼ完了し、平成10年度からは住吉川以東の取得に着手している。
- c. 県事業：用地については、平成7年度より岩倉山山麓地域（西宮市、宝塚市）の取得が行われた。  
既に用地取得された区域については、直轄事業ならびに県事業として、必要に応じて樹林育成の試験施工、山腹工や樹林の撫育（間伐、下草刈り等）が行われている。

#### (2) 今後の取り組み

引き続き、用地取得、樹林帯の整備が進められるとともに、広大な区域を永続的に維持管理するためには、県民の理解と参加、協力が必要であり、「県民参加の森づくり」が推進されることになっている。

### 参考文献

- 1) 土木学会関西支部(1996)：大震災に学ぶ－阪神・淡路大震災調査研究委員会報告書，第I巻，第2編，pp. 26-52
- 2) 兵庫県(1998)：阪神・淡路大震災に係る民間宅地擁壁復旧事業の記録
- 3) 沖村孝(1999)：土砂災害に備えたまちづくり，消防科学と情報，No. 56，(春季) pp. 1-4
- 4) 兵庫県(1999)：六甲山系震後土砂災害警戒・基準雨量検討会資料
- 5) 建設省建設経済局民間宅地指導室(1998)：改訂版宅地防災マニュアルの解説
- 6) 兵庫県(1997)：安全で自然豊かな六甲山をめざして

－六甲山系グリーンベルト構想－

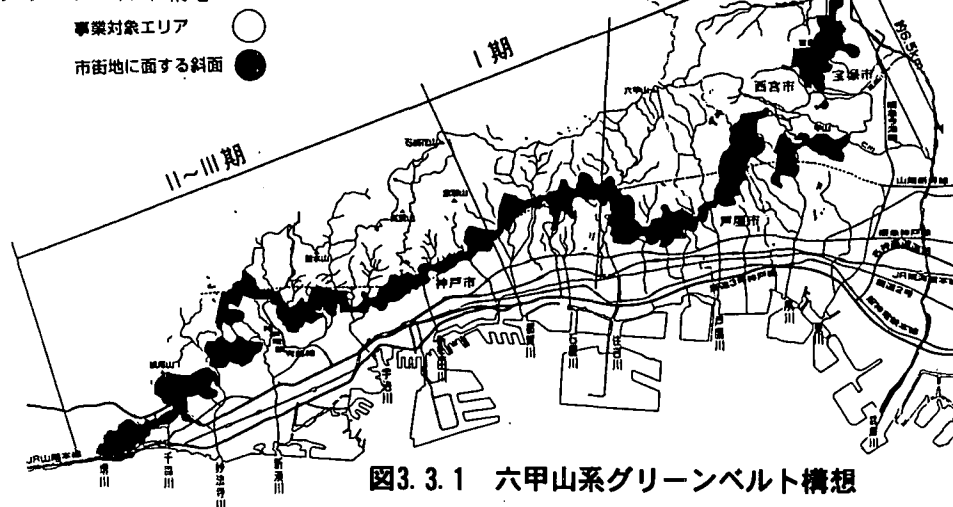


図3.3.1 六甲山系グリーンベルト構想