

#### 4. 各種構造物の耐震設計法の概要

平成7年1月17日の兵庫県南部地震により、道路橋以外の各種土木構造物にも多大な被害が生じた。本節では、主な道路土工構造物、河川構造物、港湾構造物ならびにエネルギー土木構造物等の耐震設計法の現状と動向について簡単に述べる。

##### 4.1 道路土工構造物

道路盛土については、「道路土工—のり面工・斜面安定工指針」において、崩壊により隣接物に重大な損害を与える場合、また崩壊すると復旧に長期間を要し道路機能を著しく阻害する場合には、地震の影響を考慮した安定照査が必要であると、標準設計震度 0.15 を与えて震度法すべり面計算による安定性照査法を参考として示している。

また擁壁等については、「道路土工—擁壁・カルバート・仮設構造物指針」において、一般には地震時の設計計算は不要であるが、高さが8m程度を超える場合、倒壊により付近に重大な損害を与えたりその復旧が極めて困難であるような場合、また重要度が高いと考えられる場合等について、標準設計震度 0.15 とした震度法による安定照査法を示している。

兵庫県南部地震以後、日本道路協会土工委員会内に設置された「道路土工震災対応WG」により、従来一般的には耐震設計が成されていなかった盛土等についても耐震設計を行う必要があること、耐震レベルは路線の重要度、復旧の難易度等を考慮して設定すること、また耐震性の照査には当面、震度法すべり面計算法を用いること、等の方針が出され、こからは近い将来、道路土工指針に反映される予定である。

表2. 4. 1 (a), (b)に代表的な道路土工構造物の耐震設計法の概略を示す。

表2. 4. 1(a) 道路土工構造物の耐震設計法（道路盛土，擁壁）

構造物	耐震設計法の概要	指針等	制定年月日
土構造 (道路盛土)	隣接物に重大な損害、道路機能を著しく阻害する場合は検討する。 円弧すべり面を仮定した震度法 設計水平震度 $k_h = v_1 \cdot v_2 \cdot k_{h0}$ $k_{h0} = 0.15$ $v_1$ : 地域別補正係数 $v_2$ : 地盤別補正係数	道路土工—のり面工・斜面安定工指針 日本道路協会	昭和61年11月
	基礎地盤がゆるい砂質土または軟弱な粘性土層、傾斜地の場合、地震に対する検討を行う。 砂質地盤の液状化現象 砂質地盤上の安定性検討 粘土質地盤上の安定性検討 傾斜地については「道路土工—のり面工・斜面安定工指針」参照	道路土工—軟弱地盤対策工指針 日本道路協会	昭和61年11月
擁壁	震度法 $k_h = v_1 \cdot v_2 \cdot k_0$ $k_h$ = 設計水平震度 $k_0$ = 標準設計水平震度 $v_1$ : 地域別補正係数 $v_2$ : 地盤別補正係数	道路土工—擁壁・カルバート・仮設構造物指針 日本道路協会	昭和62年5月

表2. 4. 1 (b) 道路土工構造物の耐震設計法（カルバート，共同溝）

構造物	耐震設計法の概要	指針等	制定年月日
カルバート	地震の影響は，剛性門型を除いて考慮しない。剛性門型では地震の影響が特にある場合は考慮する。	道路土工—擁壁・カルバート・仮設構造物指針 日本道路協会	昭和62年5月
共同溝	軟弱地盤部，地盤条件変化部で行う。 応答変位法による耐震計算 液状化による浮き上がりの検討項目 考慮すべき荷重，地盤種別，設計地震入力，液状化の判定を行う必要がある土層，液状化の判定及び発生の可能性の評価，浮き上がりに対する検討，液状化の詳細判定，液状化対策，耐震計算	共同溝設計指針 （6章耐震設計） 日本道路協会	昭和61年3月

#### 4. 2 河川構造物

河川堤防の構造については、「河川管理施設等構造令」および「改定新版 建設省河川砂防技術基準（案）」により定められているが，従来は基本的に地震は設計外力に含められていなかった。但し，特殊堤については，上位基準である前者において地震に対する安全性照査の必要性が述べられている。また，後者において，堤内地が低いゼロメートル地帯で，浸水による二次災害の可能性のある河川堤防では地震力を考慮する必要があると述べられている。高規格堤防については，地震に対する安定性を照査することが規定されている。

兵庫県南部地震発生直後に建設省河川局の下に設置された「河川堤防対策技術検討委員会」において，中規模の地震力を想定して震度法すべり面計算法により耐震性照査を行うこと等の方針が出された。

表2. 4. 2 (a), (b)に主な河川構造物の耐震設計法の概略を示す。

表2. 4. 2 (a) 河川構造物の耐震設計法（護岸，堤防）

構造物	耐震設計法の概要	指針等	制定年月日
護岸（河川）	擁壁，矢板の設計では，地震時の土圧，水圧の検討。	改定新版 建設省河川砂防技術基準(案) 同解説 設計編[I] 建設省河川局監修 日本河川協会編	平成9年9月
堤防（河川）	土堤 必要に応じ震度法を用いた円弧すべり法 自立式構造 道路橋示方書V耐震設計編に準拠 高規格堤防 震度法を用いた円弧すべり法	改定新版 建設省河川砂防技術基準(案) 同解説 設計編[I] 建設省河川局監修 日本河川協会編	平成9年9月

表 2. 4. 2 (b) 河川構造物の耐震設計法 (堰)

構造物	耐震設計法の概要	指針等	制定年月日
堰 (河川)	震度法 $k_h = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot k_0$ $k_h$ : 設計震度 $k_0 = 0.2$ : 標準設計震度 $\gamma_1$ : 地域別補正係数 $\gamma_2$ : 地盤別補正係数 $\gamma_3$ : 重要度別補正係数	改定新版 建設省河川砂防技術基準(案) 同解説 設計編 [I] 建設省河川局監修 日本河川協会編	平成 9 年 9 月

#### 4. 3 海岸構造物

兵庫県南部地震により、神戸港の港湾施設のほとんどが大きな被害を受けた中、摩耶埠頭の耐震強化岸壁 (3バース) の被害は比較的少なく、岸壁としての機能を十分保持し得た。この耐震強化岸壁の設計震度は 0.25 で、一般の岸壁の設計震度 0.1~0.18 より大きく設定されていた。耐震強化岸壁の整備は 1983 年日本海中部地震後の 1984 年 9 月に運輸省港湾局から出された「港湾における大規模地震対策施設の整備構想」に基づいている。同時に、「港湾施設の液状化防止対策の実施要綱」も出され、大型係留施設の液状化対策も実施されてきている。この耐震強化岸壁の整備と大型係留施設の液状化対策の実施が港湾の地震防災対策の重要な柱である。

阪神淡路大震災後、土木学会の提言を受け耐震強化岸壁の設計地震動はレベル 2 地震動と位置づけられた。基本的には震度法で設計されるが、震源近傍の耐震強化岸壁ではその設計震度は 0.25 以上とするとともに、変形等の照査が必要とされている。こうした変形照査を実施するための動的解析法の整備を目的として、港湾技術研究所で開発された有効応力解析法の「FLIP」、あるいは等価線形化手法の「FLUSH」、有限差分法の「FLAC」等による港湾施設の各種動的解析が実施されている。また、今回、港湾で用いられる液状化予測・判定手法の一つである「粒度とN値による方法」が見直され、それ以下だと液状化しやすいとされるN値が 20 から 25 に引き上げられるとともに、細粒分を多く含んだ土の場合のN値の補正で、細粒分が 15% 以上の場合に、塑性指数  $I_p$  による補正が導入されている。

表 2. 4. 3 (a), (b) に主な海岸構造物の耐震設計法の概略を示す。

表 2. 4. 3 (a) 海岸構造物の耐震設計法 (河口、漁港)

構造物	耐震設計法の概要	指針等	制定年月日
海岸保全施設 (堤防・岸壁・護岸) (河口)	震度法 設計震度 = 地域別係数 × 地盤種別係数 × 重要度係数 × 標準設計震度 重要構造物、新しい構造形式では地震応答解析での検討が望ましい。	改定新版 建設省河川砂防技術基準(案) 同解説 設計編 [II] 建設省河川局監修 日本河川協会編	平成 9 年 9 月
海岸保全施設 (堤防・岸壁・護岸) (漁港)	震度法 設計震度は構造物、地域ごと	水産庁監修 漁港構造物標準設計法 全国漁港協会	平成 2 年

表2. 4. 3 (b) 海岸構造物の耐震設計法 (港湾)

構造物	耐震設計法の概要	指針等	制定年月日
海岸保全施設 (堤防・岸壁・ 護岸) (港湾)	構造物ごとに対策 道路橋 道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計 編 (日本道路協会) 鉄道橋 国鉄建造物設計標準・解説 (土木 学会) パイプライン 消防法, 石油パイプライン事業法, 高圧ガス取締法 建築物 建築基準法 その他の構造物 震度法 設計震度 = 地域別震度 × 地盤種 別係数 × 重要度係数 埋設管状構造物 変位法 特に重要な構造物 地震応答解析 液状化の判定とその対策	運輸省港湾局監修 港湾の施設の技術上 の基準・同解説 改 定版 (上巻) 日本港湾協会	平成元年 6 月

#### 4. 4 エネルギー土木構造物

コンクリートダム等の設計法は震度法を用いた設計を基本としている。震度法によって設計されたダムの安全性は実証的に確認されているが、震度法による解析は地震時のダムの挙動を必ずしも正確に表していないため、規模の大きなダムで、大きな地震荷重が予想される場合等には、動的解析手法を用いた安全性の確認が行われている。

原子力発電施設は、万が一、その主要部分が地震により被害を受けるようなことがあれば、社会に与える影響が甚大であるため、一般構造物に比べてさらに大きな耐震余裕を確保できるように、独自の耐震設計法に基づいて設計されている。基本的な考え方・手順等は 1978 年に原子力委員会により制定され、1981 年改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」、日本電気協会による 1984 年「原子力発電所耐震設計技術指針、重要度分類、許容応力編」および 1987 年「原子力発電所耐震設計指針」に述べられている。原子力発電所各施設を影響度の高いものから順に A<sub>s</sub>, A, B, C とクラス分けを行い、各クラスごとに地震荷重と対応した許容応力を定めることとしている。基準地震動としては、設計用最強地震による地震動 (S<sub>1</sub>地震動) と設計用限界地震による地震動 (S<sub>2</sub>地震動) が設定されている。

なお、兵庫県南部地震発生直後に原子力委員会の下に設置された「平成 7 年兵庫県南部地震を踏まえた原子力施設耐震安全検討会」において、安全審査に用いられている耐震設計に関する関連指針類の妥当性等について検討がなされている。その結果、兵庫県南部地震を踏まえても、我が国の原子力施設の耐震安全性を確保する上で基本となる指針の妥当性が損なわれるものではないとの結論が得られている。また、指針策定前の原子力発電所の耐震安全性についても、確認された結果が公表されている。

表2. 4. 4は、代表的なエネルギー土木構造物であるダムと原子力発電施設の耐震設計法の概要を示したものである。

表2. 4. 4 エネルギー土木構造物の耐震設計法

構造物	耐震設計法の概要	指針等	制定年月日
ダム	地震時慣性力 $I = W \cdot K$ $I$ : 慣性力, $W$ : 自重, $K$ : 設計震度 設計震度はダム形式, 基礎条件, 地域別に設定	改定新版 建設省河 川砂防技術基準(案) 同解説 設計編[] 建設省河川局監修 日本河川協会編	平成9年9月
原子力発電所	構造物を4段階 (As, A, B, C) に区別 As, Aは動的解析をも行う. As : 基準地震動S1, S2, 弾塑性応答解析 A : S1, 弾性応答解析 B, C : 静的解析のみ 建築基準法の3倍の水平震度 縦揺れも検討 (水平震度の2分の 1) S1 : 設計用最強地震による基準 地震動 S2 : 設計用限界地震による基準 地震動	耐震設計審査指針 原子力安全委員会 (基本的な考え方)  耐震設計技術指針 日本電気協会 (設計)	昭和56年 設置許可申請 通 産省, 原子力安全委 員会  昭和62年

#### 参考文献

- 地震工学委員会：耐震設計基準の改訂の現状と課題－土木学会の提言は関係機関にどう反映されたか－，  
 土木学会平成9年度全国大会研究討論会討論会7資料，1997年9月，pp.10-13, 18-20.
- エネルギー土木委員会：エネルギー土木施設の耐震性と今後の展開－阪神淡路大震災をふまえて－，  
 土木学会平成9年度全国大会研究討論会討論会9資料，1997年9月，pp.15-19.
- 土木学会編：エネルギー施設，動的解析と耐震設計第3巻，技報堂出版，1989年，pp.109-142.
- 土木学会編：ライフライン施設，動的解析と耐震設計第4巻，技報堂出版，1989年，pp.127-146,  
 259-263.
- 土木学会編：土木工学ハンドブックI，技報堂出版，1989年，pp.379-383, 1342-1344.
- 山田善一編著：耐震構造設計論，京都大学学術出版会，1997年，pp.327-390.
- 原子力安全委員会：平成7年兵庫県南部地震を踏まえた原子力施設耐震安全検討会報告書，1995年.
- 資源エネルギー庁：指針策定前の原子力発電所の耐震安全性，1995年.