

6. 河川における地盤災害と耐震設計

6.1 震災後の設計基準化の流れ

阪神淡路大震災以降での、耐震設計の基準化の流れは表6.1.1のとおりとなる。

表6.1.1 震災以降の耐震設計の基準化の流れ

年 度	7	8	9	10	11	備 考
浸 透	堤防設計論検討会 8年度から耐震対策を含む		「堤防研究会」 浸透WG/耐震WG/侵食WG/構造物WG/堤防強化WG 「浸透WG」 「フロンティア堤防WG」→「堤防強化WG」			「河川堤防の浸透に対する安全性の概略点検について」 平成8年10月 建設省治水課 「河川堤防の浸透に対する調査要領」平成9年10月 建設省治水課 「ドレーン工設計マニュアル」 平成10年3月 国土センター
耐 震	「淀川下流域堤防本復旧対策検討委員会」 土研+淀川工事+国土センタ 「河川構造物地震対策技術検討委員会」 本省+国土センター		耐震WG 本省+国土センター (地震外力, 変形解析など) 全国堤防概略点検 全国堤防詳細調査			「河川堤防耐震点検マニュアル(案)」平成7年3月 建設省治水課 「河川堤防の液状化対策工法設計 施工マニュアル(案)」 平成9年2月 建設省土木研究所 「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)」一部改正 平成10年9月 建設省土木研究所
備 考	阪神淡路大震災 (1.17) 新潟北蒲原地震 (4.1)		河川法改定 (6.4)(環境) 東北・関東地方 豪雨災害 (8-9)			

6.2 耐震設計の考え方

6.2.1 土堤の場合

(1) 土構造物の耐震性とはどのようなことを指すのか

コンクリートあるいは他の人工材料の構造物であれば、材料としてごくわずかな変形で破壊するか、あるいは強度が大きく低下して構造物本来の機能を果たさなくなる。これに対して、盛土あるいは堤防のような土構造物はある程度の変形では構造物としての機能を失うことがない。また、局所的な変形が全体の強度を大きく低下させることもない。

したがって、土構造物の耐震性とは地震時にわずかな変形も許さないことを指すのか、あるいはかなりの変形はあっても構造物として機能を持っていればよいのかが問題となる。

(2) 地震時に洪水が起きる確率をどのように考えればよいか

自然災害を予測する場合に、洪水の予測と地震の予測を同時に行なうことは極めて難しい。なぜならば、この両者はいずれも発生する確率が時間的にレンジが長く、さらに発生したときの規模が一定しないためである。

河川堤防において地震によって堤防が破壊することはそれほど重要な問題ではない。問題なのは、地震によって堤防が破壊され、その復旧ができないうちに洪水が襲来して堤内地が浸水することである。したがって、地震が起きてからどのくらい時間的余裕があるかということであるが、この点については単純な確率計算でも災害の発生する確率は非常に小さいものとなる。

(3) 堤防の耐震性はどのようなレベルまで考えればよいか

前述したように、土構造物は変形に対する許容度が大きく地震によってその機能の全部を失うことは希である。

河川堤防が地震で破壊した場合、洪水防御の機能がどの程度残ればよいか、というのは議論の別れるところである。堤防の設計時に想定した外力のすべてに対抗するためには、耐震性は他の構造物と同様に最大地震外力に対抗できるレベルにしなければならない。言い換えれば、ごくわずかの機能低下や損傷を許さないというものである。このレベルは、不均一な土を材料とする河川構造物にあってはほとんど不可能なことである。

河川堤防の耐震対策として液状化対策が行われているが、これは上部構造物である堤体を、地震外力に完全に対抗させることは困難であるために、基礎地盤の変形を防止することによって堤体の安定を保つ、という前提に立っている。

一方、河川堤防の本来の目的を考えれば、地震後に起きる洪水を防御できれば十分であるという考えもある。そのためにはかなりの変形を許しても、堤防の機能だけを残せば良いことであれば、耐震対策としてはできる限り低いレベルに抑えればよい。この考えを極端に推し進めれば、事前の耐震対策は行わず、地震後の仮復旧を速やかにできるように考えておけばよい、ということになる。堤内地に資産が少なく、洪水の危険性も少ない地域であれば、このような考え方もそれなりの合理性をもっている。

(4) 河川堤防の耐震性の評価法の問題

河川堤防の耐震対策については、次のような方針で検討している。

①基礎地盤の液状化しやすい地区を危険地域と考え、そこに液状化防止対策を行う。

②液状化防止には、種々の工法があるが、堤体裏法側のすべり破壊を防止する、基礎地盤の強度を高める深層混合処理、基礎地盤の密度を高めるサンドコンパクション工法、液状化時の砂層の間隙水圧を消散させるためのドレーン工法、上載荷重の増加による液状化防止と堤体の変形抑制のための押さえ盛土、ブランケット施工等が主要なものである。

③液状化防止対策を行った基礎地盤と堤体とを一体のものとして、地震外力を加えた円弧すべり法で安全率を算出し、安全性を評価する。安全性の基準としては、地震時 $F_s=1.0$ としている。

ここで問題となるのは、過去において地震で被害を受けた堤防の実際の被害状況が、上記の解析法と一致しないことである。具体的には次の点である。

①河川堤防が、円弧すべりで破壊した例は少ない

②破壊の主なもの、クラックと天端の沈下である

③河川堤防が、地震時に軟弱地盤で破壊した例が少なく、そのほとんどが液状化による堤体の不規則な沈下が主な被災例である

④砂地盤が液状化したときの強度については計算法がなく、上部構造物と連続性のある破壊ではない。したがって、円弧すべりによる評価は他に計算法がないために、理論的には整合性がないが、やむを得ずこの方法を用いている。

(5) 実際の被災事例から見た堤防と地震の関係

この項については過去の地震から次のような点が明らかとなっている。

- ①被害の大きさは地震の大きさ（加速度）にほぼ比例する
- ②破壊の形態は、円弧すべり、あるいは側方流動ではない
- ③裏法尻にドレーン、前法側のブランケット、前裏両法側に押さえ盛土を施工した場合は被害がないか、あっても極めて小さい。（日本海中部地震、兵庫県南部地震）
- ④基礎地盤にサンドコンパクションを施工した場合は被害が少ない（釧路沖地震）
- ⑤押さえ盛土と地下水位低下工法を採用した八郎潟干拓堤防では北海道南西沖地震での被害が少なかった。
- ⑥地震で生じた天端の沈下は、最大でも原型の75%以下である。

以上のような問題点について、明確な合意はなされていないが、これらの背景をもとに堤防（土堤）の耐震設計は考えられている。

6.2.2特殊堤の場合（大阪府土木部での例）

(1) 耐震設計の基本方針

特殊堤の場合は、土堤（土構造物）に比べて、一般構造物に近いので、原則として現行基準に準じた震度法を用いて、応力照査を行う。

(2) 検討事項

阪神淡路大震災の被災状況を踏まえると、耐震対策を進める上で、以下のことが必要となる。

- ①地震動および慣性力を適切に評価すること
- ②地盤の液状化を的確に判定すること
- ③液状化する場合、背面土の土圧増加を適切に評価することに留意すること
- ④施設および基礎地盤の安定性および変形状態を評価すること

大地震時における地盤と構造物の変形挙動を適切に評価するには、地盤の間隙水圧の挙動を考慮した動的解析手法を用いるのが望ましいが、これらをすべての河川施設について適用して耐震性を評価するのは困難であるため、ケーススタディーを通してその適用性を確認した震度法による耐震性評価手法を採用した。

(3) 実効震度（作用震度）

震度法で用いる震度は水平震度のみとし、原則として過去の地震災害の経緯から得られた次式を用いた。

$$\alpha_{max} \leq 0.2g \text{ のとき } kh = \alpha_{max} / g \tag{6.2.1}$$

$$\alpha_{max} > 0.2g \text{ のとき } kh = 1/3 (\alpha_{max} / g)^{1/3} \tag{6.2.2}$$

kh : 実効水平震度

α_{max} : 地表面最大加速度(gal)

g : 重力加速度(gal)

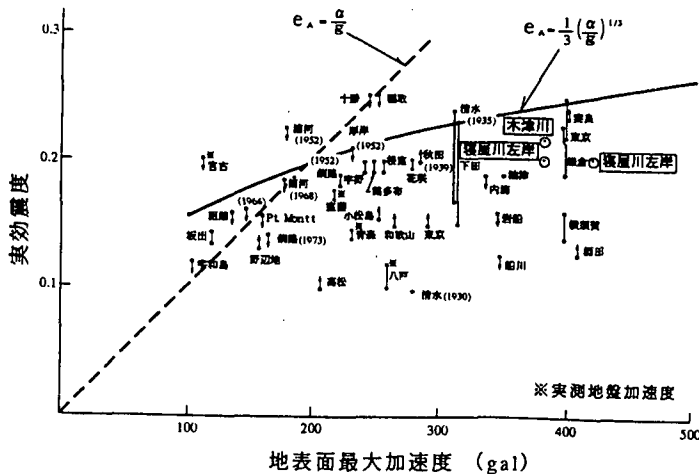


図 6.2.1 地表面加速度と実効震度の関係

6.3 耐震設計基準について

○平成9年10月 建設省河川砂防技術基準（案）同解説 建設省河川局

基本方針；耐震対策が必要とされる堤防においては、堤体の土質、基礎地盤の条件等を考慮して、地震に対する安全を確保するものとする。

評価手法；

1) 土堤の場合

震度法を用いた円弧すべり法による安定計算により地震時安全率を算出し、堤防天端の沈下量と地震時安全率の関係を下表から算出している。

表6.3.1 堤防天端高の沈下量（上限値）と地震時安全率の関係

地震時安全率 F_{sd}		沈下量（上限値）
$F_{sd}(kh)$	$F_{sd}(\Delta u)$	
$1.0 < F_{sd}$		0
$0.8 < F_{sd} \leq 1.0$		(堤高) \times 0.25
$F_{sd} \leq 0.8$	$0.6 \leq F_{sd} \leq 0.8$	(堤高) \times 0.50
—	$F_{sd} \leq 0.6$	(堤高) \times 0.75

ここで、 $F_{sd}(kh)$ は堤内側、堤外側各々について慣性力のみを考慮した場合の安全率であり、 $F_{sd}(\Delta u)$ は、過剰間隙水圧のみを考慮した場合の安全率である。これらのうち最も小さい安全率を採用する。

2) 特殊堤の場合

被害を受けた場合の早急な復旧は困難であるため、地震により多少の変形は許容するものの浸水による二次災害となるような大変形、破壊はしないように所要の安全率を有する必要がある。

地震外力；

1) 土堤の場合

液状化に対する設計震度 (K_s) は表 6.3.2のとおりである。

表 6.3.2 液状化に対する設計震度 (K_s)

地域区分	強震帯地帯	中震帯地帯	弱震帯地帯
液状化判定用設計震度	0.18	0.15	0.12

慣性力に対する設計震度 (K_h) は表 6.3.3のとおりである。

表 6.3.3 慣性力に対する設計震度 (K_h)

地域区分	強震帯地帯	中震帯地帯	弱震帯地帯
堤防規模			
$B/H \leq 1.0$	0.18	0.15	0.12
$1.0 < B/H \leq 2.0$	0.16	0.14	0.11
$2.0 < B/H$	0.15	0.12	0.10

2) 特殊堤（自立式構造）の場合

構造的には橋梁の基礎と類似しているため「道路橋示方書V耐震設計編」に準じて行う。

液状化に対する設計震度： $K_{so}=0.15$

慣性力の設計震度： $K_{ho}=0.20$

評価方法は、構造特性等に応じて許容応力度法または降伏応力度法により行う。

参考文献

- 1)大阪府土木部（平成9年3月）：大阪府土構造物耐震対策検討委員会 報告書
- 2)建設省河川局監修 社）日本河川協会編（平成9年10月）：建設省河川砂防技術基準（案）同解説