

大規模地震に対する河川構造物の耐震設計基準の動向

杉田 秀樹¹・田村 敬一²

¹独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ(振動) 上席研究員(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail:sugita@pwri.go.jp

²国土技術政策総合研究所 地震災害研究官(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

E-mail:tamura-k92ta@nilim.go.jp

本論文は、河川堤防および樋門・水門・堰等の河川構造物について、地震に対する基本的考え方の動向を報告するものである。河川構造物の地震被害の特徴、河川構造物の耐震設計の準拠指針である「河川砂防技術基準(案)」の経緯、および、新たに策定・運用が進められている大規模地震を想定した「河川構造物の耐震性能照査指針(案)同解説」の骨子を報告する。

Key Words : River dike, River structures, Earthquake damage, Seismic design criteria

1. はじめに

河川構造物は、一般堤防(土堤)や高規格堤防といった盛土構造物と、主たる構造部材がコンクリートや鋼材であるコンクリート等の構造物に大別される。さらに後者は、護岸、水制、床止めといった堤防や河床に付属する工作物と、水門、樋門、堰、揚排水機場といった構造物群に分類される。これら多種多様な河川構造物の耐震設計は「建設省河川砂防技術基準(案)同解説、H9」に準拠しているが、設計地震動としてはレベル1地震動(中規模地震)のみが考慮されており、レベル2地震動への対処が喫緊の課題であった。このため国土交通省では、H16より「河川構造物の耐震検討会(座長:佐々木康広島大学名誉教授)」を設置し、H19.3に「河川構造物の耐震性能照査指針(案)同解説」を策定した。

本稿では、河川構造物の地震被害の特徴を振り返るとともに、「建設省河川砂防技術基準(案)」の改訂経緯及び、「河川構造物の耐震性能照査指針(案)同解説」の骨子について報告するものである。

2. 河川構造物の地震被害

1891年濃尾地震以降の主要地震による盛土(堤防)構造物の地震被害事例について、堤防高と堤防天端の沈下量との関係を整理すると図1の通りである。一般の河

川堤防は、既往地震の度に沈下、縦横段亀裂、すべり破壊といった被害を生じてきた。特に著しい被害は軟弱地盤上で生じていることから、堤防の耐震性は基礎地盤の良否に支配されていると言える。さらに、著しい被害を生じた事例ではほとんどの場合に噴砂が見られることから、基礎地盤の液状化が被害の主要因と考えられる。軟弱粘性土地盤での被害事例は稀に見られる程度である。堤防天端の沈下量の大きさは基礎地盤条件や地震動の大きさにより変動するが、同図ではそれらの区別なく整理している。これによれば、堤防天端の沈下量は、最大で堤防高の約75%となることが知られている。

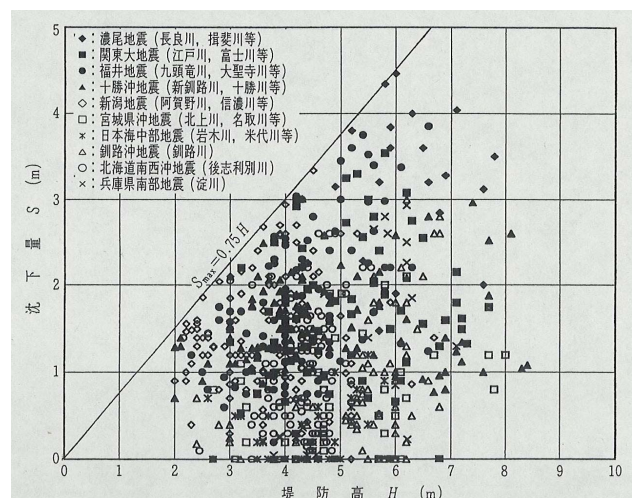


図1 既往地震被害事例での堤防高と沈下量の関係¹⁾

一方、1964年新潟地震以降の主要地震による、コンクリート等構造物の被害事例を示すと表1の通りである。非常に古い地震被害の記録が十分に残されていないため図1と単純に比較はできないが、同表によれば、コンクリート等構造物の被害件数は盛土構造物と比較して明らかに少ない。これは、コンクリート等構造物では比較的古くから中規模地震動相当の地震荷重が考慮されてきたためと考えられる。被害事例の中では樋門函体の損傷が数多く報告されているが、これは樋門の門扉部分の設計とは異なり、函体部分は地震荷重を考慮した耐震設計がなされていないためである。埋設されている堤防自体が大きな変形を生じると、函体間に設置された継手だけでは周辺土の変形に追従できず、継手の離間、函体の亀裂、また剛構造樋門（函体が杭基礎で支持された構造）の場合には函体底面に空隙が生じることになる。

表1 既往地震による河川構造物の被害事例

地震	構造物	被害
S39 新潟地震	松浜特殊堤	移動に伴う目地ずれ
	下山樋門	函体の破断・開き
S53 宮城県沖地震	阿武隈川大堰	ゲート戸当たり変形
	船越樋門	門柱損傷
	旧北上大堰	ゲート戸当たり変形
S58 日本海中部地震	豊巻樋門	函体の亀裂
	桧山川排水樋門	函体の亀裂
	流川排水樋門	函体継手の開き
	津花川排水樋門	函体継手の開き
	中島水門	川裏側擁壁の転倒
H5 釧路沖地震	昆布森樋門	函体継手の開き
	別海樋門	函体継手の開き、排水口損傷
H5 北海道南西沖地震	愛知1号樋門	函体の破断・開き
H7 兵庫県南部地震	左門殿川特殊堤	擁壁の前傾、基礎杭損傷
	新在家水門	門柱損傷
	加古川大堰	ゲート戸当たり変形
	西瀬川暗渠河川	目地部破損、側壁クラック
	塩屋谷川ソレ河川	覆工クラック
H15 十勝沖地震	十勝太東8号樋門	門柱傾斜
H16 新潟県中越地震	妙見堰	門柱損傷
	茶郷川樋門	函体継手の開き
	川口地先揚水機場	可とう継手の偏心・損傷

水門や堰の被害事例は稀ではあるが、2006年新潟県中越地震による妙見堰（写真1参照）のように大きな損傷を生じた例もある。隣接する妙見堰管理所における加速度時刻歴の最大値は1500galを超えており、加速度応答スペクトルも短周期側では1995年兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台で観測された地震動を上回った。実際に生じた地震動が設計荷重を大きく上回る場合には、コンクリート等構造物でも大きな損傷を生じることになる。



写真1 妙見堰の門柱被害 (H16 新潟県中越地震)

3. 河川構造物の耐震設計の経緯

「建設省河川砂防技術基準（案）同解説」は、河川構造物の技術の体系化を図り、もって技術水準の維持向上を図ることを目的として昭和33年に作成された。この後、昭和30年代に始まる高度経済成長と社会環境の変化に対応すべく、本編は昭和47年に調査、計画、設計、施工、維持管理の5編に細分化された。さらに、昭和60年の改訂では、コンクリート等構造物の設計に中規模地震相当の地震荷重が初めて導入されるに至った。

1995年兵庫県南部地震では、淀川下流部の堤防が最大3m程度も沈下し、背後に低平地を擁する地域の堤防においては耐震性を強化することの必要性が強く認識された。建設省（当時）は、地震発生直後に「河川堤防地震対策技術検討委員会（委員長：山村和也日本大学教授）」を設置し、ゼロメートル地帯に位置する河川堤防の耐震性強化の方針が提言された。平成9年の改訂では、上記提言に基づき河川堤防の耐震設計が盛り込まれ、全国の河川堤防で耐震診断と耐震対策が進められている。

一般堤防の耐震設計は、地震後の堤防の変形量を適切に予測する実用的な手法が確立されていなかったため、当面は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、表2に示す堤防天端の沈下量と地震時安全率の関係から堤防の変形量を推定する方法が選択された。同基準では、設計震度は0.10-0.18の間で与えており、大規模地震動が考慮されていない。背景には、万一被害を生じて早期復旧が可能なこと、より頻度の高い洪水防御が優先であること、等の考えがあった。

表2 堤防天端沈下量と地震時安全率 F_{sd} の関係

地震時安全率 F_{sd}		沈下量 (上限値)
$F_{sd}(kh)$	$F_{sd}(\Delta u)$	
$10 < F_{sd}$		0
$0.8 < F_{sd} \leq 1.0$		(堤高) × 0.25
$F_{sd} \leq 0.8$	$0.6 \leq F_{sd} \leq 0.8$	(堤高) × 0.50
—	$F_{sd} \leq 0.6$	(堤高) × 0.75

4. 河川構造物の耐震性能照査指針（案）

近年、中央防災会議により、宮城県沖地震、東海地震、東南海地震、南海地震、首都圏直下地震等の大規模地震の発生確率や被害想定に関する検討が進められている。河川構造物では前述した通り中規模地震動のみ想定されていることから、大規模地震動への対応が喫緊の課題であった。こうした背景から、国土交通省では平成16年に「河川構造物の耐震検討会（座長：佐々木康広島大学名誉教授）」を設置し、レベル1地震動及びレベル2地震動を考慮した「河川構造物の耐震性能照査指針（案）同解説、H19.3（以下、指針（案）という）」を策定した。

(1) 適用範囲

指針（案）は、堤防、自立式構造の特殊堤、水門・樋門および堰、揚排水機場の耐震性能の照査に適用する。指針（案）の構成と適用範囲は表3の通りである。なお、地震により治水・利水機能に影響が及ぶ恐れがある構造物のうち、上記以外の伏せ越しおよび地下河川については、道路、下水道等類似構造物の技術指針類を準用する。

表3 指針（案）の構成と適用範囲

編	適用範囲
共通編	耐震性能照査の基本方針、荷重等の共通事項
堤防編	盛土による堤防の耐震性能の照査*
自立式構造の特殊堤編	自立式特殊堤の耐震性能の照査
水門・樋門および堰編	水門・樋門および堰の耐震性能の照査
揚排水機場編	揚排水機場の耐震性能の照査

※高規格堤防は別途検討中であり、本指針(案)の対象に含まない。

(2) 耐震性能照査の基本的考え方

河川構造物の耐震性能の照査においては、河川構造物の耐震性能および地震動を適切に設定するとともに、適切な照査方法を用いる。耐震性能の照査方法は、構造物の地震時挙動を動力的に解析する動的照査法と、地震の影響を静力的に解析する静的照査法に大別される。動的照査法は、一般に地震時の現象を精緻にモデル化し、詳細な入力データおよび高度な技術的判断を必要とする。一方、静的照査法は現象を簡略化して比較的簡易に実施することが可能である。耐震性能の照査に際しては、構造物の地震時挙動特性や必要とされる解析精度等を考慮して、適切な照査方法を選定する必要があるが、本指針（案）では実務上の簡便性を考慮して、主として静的照査法について規定している。

耐震性能の照査において考慮する外水位は、原則として、平常時の最高水位とする。これは、地震と洪水が同時に発生する可能性は低いことを考慮して、従来の耐震点検・耐震対策等で考慮されてきた外水位を踏襲したも

のである。ただし、河口部付近では朔望平均満潮位および波浪の影響を考慮する。また、地震の発生に伴い津波の遡上が予想される場合は、津波高についても考慮する。

(3) 地震の影響

地震の影響としては、構造物の重量に起因する慣性力、地震時地盤変位、地震時土圧、地震時動水圧および液状化の影響を考慮する。河川構造物には、盛土による堤防のような土構造物、水門や堰のように地表面から突出した構造物、揚排水機場の機場本体のように地盤内に設置される構造物など多くの種類がある。また、部材によっては周辺土や水に接しているものもある。構造物または部材に応じて受ける地震の影響が異なることを踏まえ、考慮すべき地震の影響を適切に選定する必要がある。

(4) 耐震性能の照査に用いる地震動

レベル1地震動は、河川構造物の供用期間中に発生する確率が高い地震動とする。レベル1地震動は、震度法による従来の耐震設計で考慮されていた地震動のレベルを踏襲かつ整合するように定めることとした。

レベル2地震動は、対象地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動とする。レベル2地震動としては、プレート境界型の大規模な地震を想定したレベル2-1地震動、および、内陸直下型地震を想定したレベル2-2地震動の2種類を考慮する。ここで、レベル2地震動は「土木構造物の耐震設計ガイドライン（案）、土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会、2001.9」や「土木・建築にかかる設計の基本、国土交通省、2002.10」等を参考に定めた。レベル2-1地震動は大きな振幅が長時間繰り返して作用する地震動であるのに対し、レベル2-2地震動は継続時間は短い極めて大きな強度を有する地震動である。構造物の地震時挙動は、地震動の振幅特性、周期特性、継続時間、繰返し特性等の影響を受けるため、耐震性能の照査においては地震動特性が異なる2種類の地震動を考慮することとした。

(5) 必要とされる耐震性能

各種構造物及び構造部位に必要なとされる耐震性能は、構造物の治水上および利水上の重要性、当該構造部材が構造物の骨格をなす主要な構造部位か否か、代替措置が可能か否かに着目して図2に示すフローに基づいて定めた。ここに、耐震性能の定義は、耐震性能1：河川構造物としての健全性を損なわない性能、耐震性能2：耐震性能の照査において考慮する外水位に対して河川構造物としての機能を保持する性能、耐震性能3：損傷が限定的なものにとどまり、河川構造物としての機能の回復が速やかに行ない得る性能、である。河川構造物に必要なと

される耐震性能を表4に、さらに、治水上および利水上重要な河川構造物について、部位毎に必要とされる耐震性能を表5に例示する。

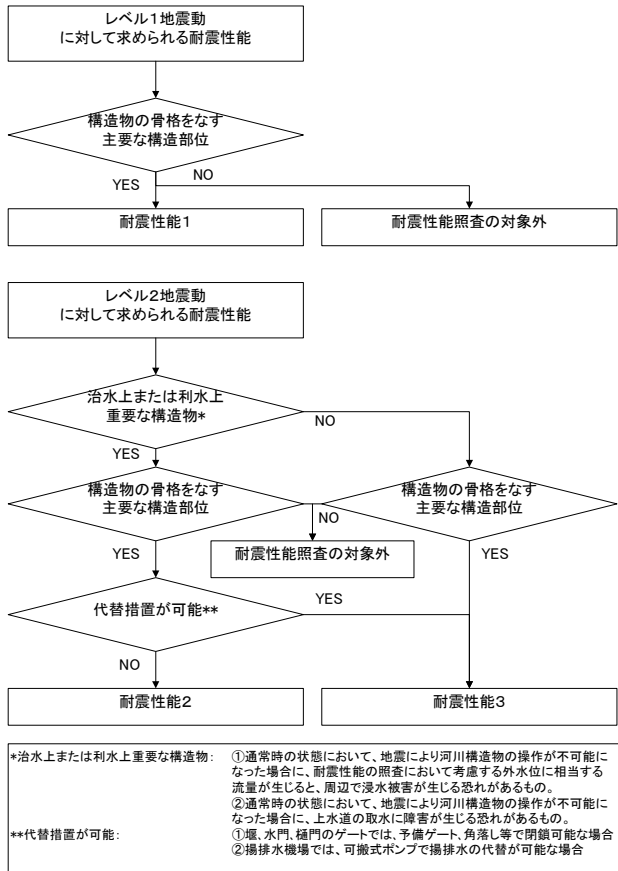


図2 耐震性能の基本的考え方

5. まとめ

河川構造物の最新の耐震基準の概要を示した。今後新設される構造物は本指針（案）に従って構築され、既存構造物で耐震性能が不足するものは、治水上または利水上重要なものから順次耐震対策が進められる予定である。

参考文献

- 1) 河川構造物地震対策技術検討委員会：河川構造物地震対策技術検討委員会報告書、1996

(2007.?? 受付)

表4 河川構造物に必要とされる耐震性能

構造物	構造物形式	治水・利水上の区分	L1照査	L2照査
堤防 (土堤)	土堤	※	対象外	耐震性能2
		それ以外の地域	対象外	対象外
自立式 特殊堤	コンクリート 擁壁	※	耐震性能1	耐震性能2
		それ以外の地域	耐震性能1	耐震性能3
	自立式矢板	※	対象外	耐震性能2
		それ以外の地域	対象外	耐震性能3
堰	引き上げ式 ゲート	治水上or利水上重要	耐震性能1	耐震性能2
		それ以外	耐震性能1	耐震性能3
	鋼製転倒ゲート (鋼製起伏堰)	治水上or利水上重要	耐震性能1	耐震性能2
水門 樋門		治水上or利水上重要	耐震性能1	耐震性能2
		それ以外	耐震性能1	耐震性能3
揚排水機場		治水上or利水上重要	耐震性能1	耐震性能2
		それ以外	耐震性能1	耐震性能3

※ 堤内地盤高が耐震性能の照査において考慮する外水位よりも低い地域

表5 構造部位毎に必要とされる耐震性能

構造物	構造物形式	部位	L1照査	L2照査
堤防 (土堤)	土堤	本体	対象外	耐震性能2
自立式 特殊堤	コンクリート 擁壁	躯体、基礎	耐震性能1	耐震性能2
		自立式矢板	対象外	耐震性能2
堰	引き上げ式 ゲート	堰柱床板、門柱、堰柱、基礎、 ゲート操作台	耐震性能1	耐震性能2
		ゲート、ゲート操作室、管理橋	耐震性能1	耐震性能2※
		中間床板、水叩き、しゃ木工、 護床工、護岸、魚道、付属設備	対象外	対象外
	鋼製転倒ゲート (鋼製起伏堰)	堰柱、堰柱床板、基礎、ゲート	耐震性能1	耐震性能2※
		中間床板、水叩き、しゃ木工、 護床工、護岸、魚道、付属設備	対象外	対象外
		胸壁、翼壁、中間床板、水叩き、 しゃ木工、護岸、付属設備等	対象外	対象外
水門 樋門		胸壁、翼壁、門柱、堰柱、 基礎、ゲート操作台	耐震性能1	耐震性能2
		ゲート、ゲート操作室、管理橋	耐震性能1	耐震性能2※
		胸壁、翼壁、中間床板、水叩き、 しゃ木工、護岸、付属設備等	対象外	対象外
揚排水機場		機場本体、基礎	耐震性能1	耐震性能2
		ポンプ設備、機場上屋	耐震性能1	耐震性能2※
		付属設備等	対象外	対象外

※ 代替可能であれば耐震性能3

DEVELOPMENT OF SEISMIC DESIGN CRITERIA FOR RIVER STRUCTURES

Hideki SUGITA and Keiichi TAMURA

This paper introduce a recent trend of the seismic design philosophy of river structures, such as river dike, water gate, weir, and sluiceway. Characteristics of past earthquake damage developed on river structures, history of existing seismic design criteria, and outline of the latest ‘performance based seismic design criteria for river structures against large earthquake, 2007.3’ are described briefly.