

有効応力解析による河口堰の耐震性能照査

(独)水資源機構 正会員 ○土田 百合子
 (独)水資源機構 水野 義之
 (独)水資源機構 正会員 山本 力

1. はじめに

(独)水資源機構が管理し、徳島県板野郡松茂町に位置する旧吉野川河口堰(以下、「旧吉堰」という)と徳島市及び板野郡北島町に位置する今切川河口堰(以下「今切堰」という)は、昭和南海地震(昭和21年発生)で液状化等により被災した旧堰の代替施設として昭和49年、昭和50年に竣工している。今回、近い将来発生が懸念されている南海地震等の大規模地震に備えるため、河川構造物の耐震性能照査指針(案)に基づき、両堰の耐震性能照査を行った。地盤と構造物を一体とした2次元FEM(単独堰柱モデル)を作成し、解析は、港湾施設や吉野川堤防の解析で実績のある液状化による構造物被害予測プログラム「FLIP」(有効応力解析)を用いた。

2. 耐震要求性能

両堰は、洪水防御、流水の正常な機能の維持を目的としており、レベル2地震動における要求性能は、「潮止機能の保持」と「ゲート開閉機能の保持」とし、各部材の照査基準と照査項目を表1のように定めた。

表1 両堰のレベル2地震に対する照査基準と照査項目

部材	照査基準	照査項目
門柱	○地震後の津波来襲に備えてゲートの開閉が可能であること。 ○門柱が塑性変形しても、ゲートが通過できるだけの変形角度以下または補修可能な変形角を確保する。なお、速やかに補修可能な変形角1/100ラジアン(道路橋示方書)と比較し、小さい方を許容値とする。	曲率塑性率 最大せん断力 残留変形角
堰柱	○地震後の津波来襲に備えてゲートの開閉が可能であること。 ○堰軸方向に変形しても、堰柱間距離はゲート幅以上を確保する。なお、速やかに補修可能な変形角1/100ラジアン(道路橋示方書)と比較し、小さい方を許容値とする。	圧縮応力 引張応力 せん断応力 残留変形角
基礎杭		曲率塑性率
止水矢板	○破断されない、堰柱との接合部が外れない	曲率塑性率 エンクリートとの付着

3. モデル作成

1) 対象地震動

地震調査研究推進本部によると今後30年間に東南海地震が発生する確率は、60～70%程度、南海地震は50%程度とされている。中央防災会議によると、両堰周辺での東南海南海連動型地震の震度分布予測は、震度6弱と推定されている。両堰の耐震性能照査に用いるレベル2対象地震動は、中央防災会議で公表されている東南海南海連動型地震とし、旧吉堰地点で想定されている地震動(メッシュ51341476, Vs=700m/s 相当地盤, NS最大105gal, EW最大142gal) 今切堰地点で想定されている地震動(メッシュ51341424, Vs=700m/s 相当地盤, NS最大164gal, EW最大228gal)とした。

2) 地盤の物性値等

建設当時(昭和46年)に河川内で実施した地質調査等を基に設定した地盤の物性値等を表2、3に示す。液状化懸念層は、最上層のA2s層で、旧吉堰は14.45m、今切堰は6.05mである。河川の隣接地からサンプリングした試料を用いてA2s層の繰返し三軸試験を行っている(図1、2)。

表2 各層の物性値等(旧吉堰)

地層名	層下面標高 T.P. (m)	層厚 h (m)	単位体積 重量 γ_t (kN/m^3)	平均 N値	弾性波 速度 Vs (m/s)	初期せん断 剛性 Gma (kN/m^2)	土粒子 ボアソン 比	非線形 特性 $n_{\max}$
A2s	-19.98	14.45	19.0	14	180	62,800	0.33	0.29
A3C1	-26.98	7.00	18.0	10	220	88,900	0.33	0.24
A3s	-36.28	9.30	19.0	26	240	112,000	0.33	0.28
A3C2	-39.28	3.00	18.5	13	220	91,400	0.33	0.24
A3C3	-43.83	4.55	19.0	38	260	131,000	0.33	0.27

表3 各層の物性値等(今切堰)

地層名	層下面標高 T.P. (m)	層厚 h (m)	単位体積 重量 γ_t (kN/m^3)	平均 N値	弾性波 速度 Vs (m/s)	初期せん断 剛性 G (kN/m^2)	土粒子 ボアソン 比	非線形 特性 $n_{\max}$
A2s	-10.28	6.05	19	12	180	62,800	0.33	0.29
A3C1	-16.98	6.70	18	8	200	73,500	0.33	0.24
A3s	-18.08	1.10	17	25	210	76,500	0.33	0.28
A3C2	-23.18	5.10	18	5	210	81,000	0.33	0.24
A3C3	-30.98	7.80	17	25	220	84,000	0.33	0.24
Dq	-53.53	22.60	15	43	310	147,000	0.33	-

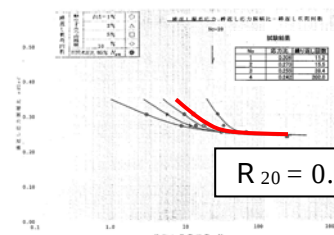


図1 繰返し三軸試験結果(旧吉堰)

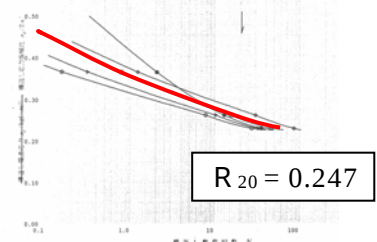


図2 繰返し三軸試験結果(今切堰)

キーワード 有効応力解析 FLIP 東南海南海連動型地震

連絡先 〒338-0812 埼玉県さいたま市桜区大字神田 936 TEL 048-853-1785 FAX 048-855-1695

3) 地盤構造物一体モデル

河口堰は、方向により構造物の形状が異なることから2方向(堰軸方向と水流方向)の2次元モデルを作成した(図3)。モデルの下端は、基礎杭が打ち込まれている層を考慮して、旧吉堰ではVs=300m/s相当層(標高TP-43.83m)、今切堰ではVs=700m/s相当層(標高TP-53.53m)とした。旧吉堰では、入力地震波をVs=300m/s相当まで引き上げ、両堰ともモデル底面より地震動を入力した。境界条件は、側面、底面共に粘性境界とした。

4. 要素シミュレーション

有効応力解析では、要素シミュレーションを行い、繰返し三軸圧縮試験結果から得られた液状化強度を解析モデル上に再現する。液状化パラメタは、繰返し三軸試験結果にフィッティングさせた。その結果を図4、図5に示す。

5. 照査結果

旧吉堰では、A2s層の上部が、今切堰では、A2s全層の過剰間隙水圧比が1に近づき、液状化した。構造物は、各部材とも最大応答値が照査基準値を下回り(表4)、また、残留変形角等も小さいことからゲート開閉に支障がなく、耐震要求性能を満足することを確認した。

6. まとめ

各部材の最大応答値が発生した時刻をみると、どの部材も過剰間隙水圧比の上昇開始時刻以降に最大応答値が発生している(表4)。これは、照査の指標である最大応答値には、過剰間隙水圧の上昇に伴う影響が考慮されていることを示している。また、基礎杭について、別途検討した全応力解析(液状化を考慮しない)と有効応力解析と、ある要素での最大応答値を比較すると、有効応力解析の方が大きな値が発生している場合が多い(表5)。このことから液状化が懸念される地盤に位置する河口堰の耐震性能照査を実施するには、液状化現象を表現することができる有効応力解析を用いることの必要性を確認できた。

両堰の耐震性能照査では、前京都大学の家村浩和教授、京都大学の井合進教授、前徳島大学の山上拓男教授、前国土交通省国土技術政策総合研究所の田村敬一地震災害研究官に助言・指導をいただきました。ここに厚く感謝の意を表します。

【参考文献】港湾技術資料№869

液状化による構造物部被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法 港湾技術研究所

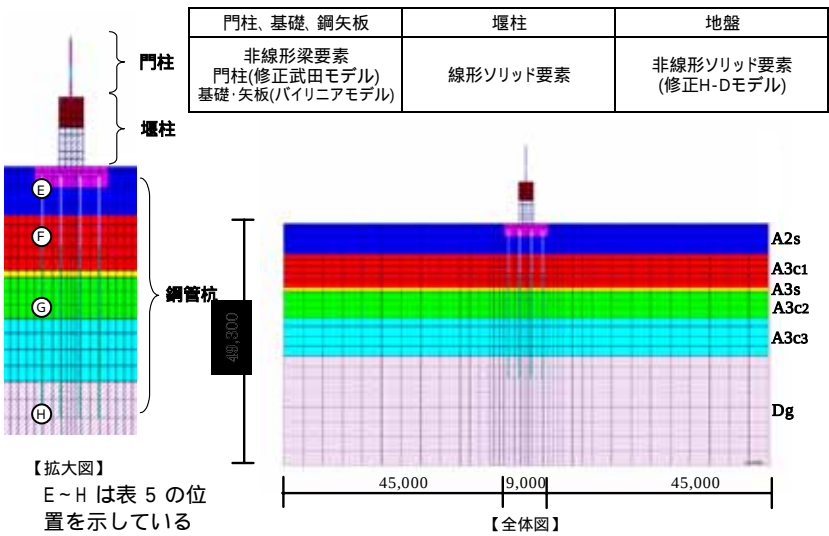


図3 解析モデル例(今切堰 堰軸方向)

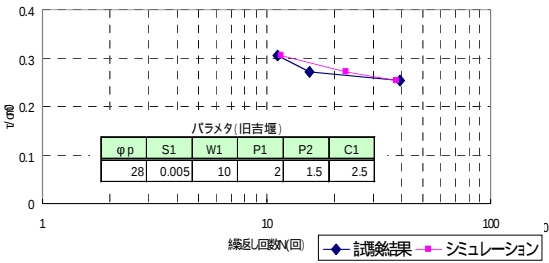


図4 要素シミュレーション結果(旧吉堰)

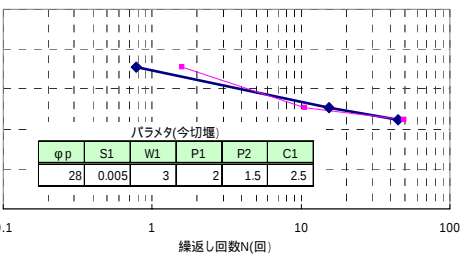


図5 要素シミュレーション結果(今切堰)

表4 最大応答値と発生時刻(堰軸方向)

	門柱			基礎杭			過剰間隙水圧比上昇時刻(s)		
	曲率塑性率		せん断(kN)	曲率塑性率		せん断(kN)	最大	照査	発生
	最大	照査		最大	照査		応答値	基準値	時刻(s)
旧吉堰	0.24	5.31	26.1	652	767	26.1	4.95	8.66	27.0
今切堰	0.23	3.21	20.7	410	582	20.7	1.01	10.09	20.8

	堰柱			過剰間隙水圧比上昇時刻(s)		
	圧縮応力(kN/m ²)		せん断応力(kN/m ²)	最大	照査	発生
	最大	照査		応答値	基準値	時刻(s)
旧吉堰	2,402	21,000	26.0	1,654	2,100	26.0
今切堰	1,172	21,000	20.7	588	2,100	20.7

過剰間隙水圧比上昇時刻とは、A2s層のある箇所での過剰間隙水圧比の上昇開始時刻から液状化した時刻を示している。

表5 基礎杭の最大応答値(堰軸方向)

位置	旧吉堰		位置	今切堰	
	全応力解析	有効応力解析		全応力解析	有効応力解析
A	0.12	4.41	E	0.08	0.92
B	0.05	0.87	F	0.04	0.20
C	0.06	0.06	G	0.05	0.02
D	0.07	0.02	H	0.01	0.02

値は曲率塑性率である。位置は、全応力解析と有効応力解析でほぼ同じ箇所である。図3の拡大図に今切堰の位置を示している。なお、全応力解析はSoilPlusにて実施している。