

動的遠心模型実験による河川特殊堤の耐震対策工の作用力モデル及び対策効果評価法の検討

国土技術政策総合研究所 正会員 ○梶尾 辰史, 片岡 正次郎, 松本 幸司
(国研) 土木研究所 正会員 谷本 俊輔, 佐々木 哲也
筑波大学大学院 正会員 庄司 学

1. はじめに

河川堤防は土堤が原則であるが、用地制約等から特殊堤（コンクリート擁壁、鋼矢板等）が設置される場合がある。この特殊堤の地震時挙動等については十分な研究が進められておらず、現行の耐震基準は堤防のマニュアル¹⁾が準用され、特殊堤の被災形態に応じた基準類の整備が必要である。著者らの既往研究^{2~4)}を踏まえ、今回、耐震対策工（改良体）の設計時の作用荷重モデル及び対策効果の評価手法の検討を行った。

2. 実験方法

模型（図-1）の基礎地盤は東北珪砂7号で作製し、アルミ製の擁壁（高さ5.6m、基礎杭長10mまたは4m）とステンレス製の矢板（長さ11m）の各ケースの構造諸元等は同一にし、改良体はレベル1地震動相当の外力に対して外的安定性を満足するようにセメント改良土にて設計基準強度 $q_u=1,000\text{kPa}$ を目標に作製し、動的遠心模型実験（遠心加速度50G）を行った。入力地震動（図-2）は道路橋示方書（平成24年3月）のレベル2地震動（呼び名I-I-3）とした。実験ケースは表-1の28ケースとし、詳細は既往研究^{2~4)}を参照されたい。

表-1 実験ケース⁴⁾

構造	支持条件	改良	地盤構成	液状化層		改良体の形状	ケースNo.
				層厚(m)	幅(m) × 高さ(m)		
擁壁 (W)	支持杭(B)	無対策(N)	全層：支持層	無し(ANL)	-	-	W-B-N-ANL(C7)
	浮き杭(F)	無対策(N)	全層：液状化層	全層(AL)	16.5	-	W-F-N-AL(C1)
	支持杭(B)	無対策(N)	【2層】	小(SL)	2.0	-	W-B-N-SL(C3)
	支持杭(B)	無対策(N)	上層：液状化層	大(LL)	7.1	-	W-B-N-LL(C2)
	浮き杭(F)	無対策(N)	下層：支持層	大(LL)	7.1	-	W-F-N-LL(C13)
	支持杭(B)	無対策(N)	【互層(3層)】上層：非液状化、中間層：液状化、下層：支持層	小(SAL)	2.1	-	W-B-N-SAL(C22)
	支持杭(B)	無対策(N)			5.1	-	W-B-N-LAL(C23)
	支持杭(B)	前面改良[標準](FS)			7.1	15.0 × 7.1	W-B-FS-LL(C8)
	支持杭(B)	背面改良[標準](RS)			7.1	9.0 × 7.6	W-B-RS-LL(C9)
	浮き杭(F)	前面改良[標準](FS)			7.1	15.0 × 7.1	W-F-FS-LL(C10)
	浮き杭(F)	背面改良[標準](RS)			7.1	9.0 × 7.6	W-F-RS-LL(C11)
	浮き杭(F)	直下改良[標準](US)	上層：液状化層		7.1	10.0 × 6.5	W-F-US-LL(C12)
	支持杭(B)	前面改良[根入れ](FE)	下層：支持層		7.1	9.5 × 10.5	W-B-FE-LL(C18)
	支持杭(B)	背面改良[根入れ](RE)			7.1	7.0 × 11.1	W-B-RE-LL(C19)
	支持杭(B)	前面改良[幅広](FW)			7.1	33.5 × 7.1	W-B-FW-LL(C21)
	支持杭(B)	前面改良[狭小幅](FN)			7.1	7.5 × 7.1	W-B-FN-LL(C20)
	支持杭(B)	前面改良[標準](FS)	【互層(3層)】上層：非液状化、中間層：液状化、下層：支持層		5.1	7.5 × 7.1	W-B-FS-LAL(C24)
	支持杭(B)	前面改良[根入れ](FE)			5.1	5.5 × 10.6	W-B-FE-LAL(C28)
	支持杭(B)	前面改良[幅広](FW)			5.1	23.5 × 7.1	W-B-FW-LAL(C25)
矢板 (P)	支持矢板(B)	無対策(N)	全層：支持層	無し(ANL)	-	-	P-B-N-ANL(C26)
	浮き矢板(F)	無対策(N)	全層：液状化層	全層(AL)	16.5	-	P-F-N-AL(C4)
	支持矢板(B)	無対策(N)		小(SL)	2.0	-	P-B-N-SL(C6)
	支持矢板(B)	無対策(N)			4.0	-	P-B-N-LL(C5)
	支持矢板(B)	前面改良[標準](FS)	【2層】		4.0	12.0 × 4.0	P-B-FS-LL(C14)
	支持矢板(B)	背面改良[標準](RS)	上層：液状化層		4.0	6.0 × 4.5	P-B-RS-LL(C15)
	浮き矢板(F)	前面改良[標準](FS)	下層：支持層		9.5	17.0 × 9.5	P-F-FS-LL(C16)
	浮き矢板(F)	背面改良[標準](RS)			9.5	11.0 × 10.0	P-F-RS-LL(C17)
	支持矢板(B)	前面改良[根入れ](FE)			4.0	8.0 × 7.0	P-B-FE-LL(C27)

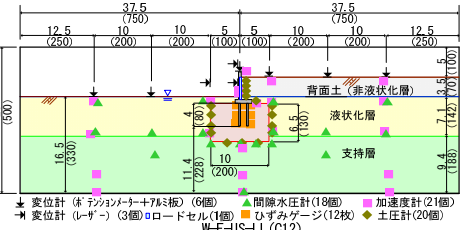


図-1 模型断面概要例 (C12)

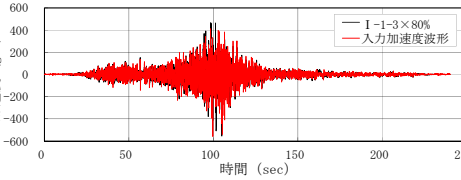


図-2 入力地震動 (C12)

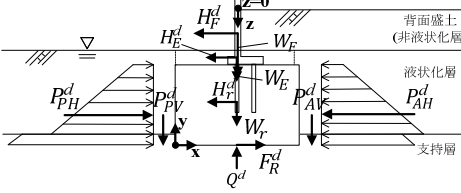


図-3 改良体の作用荷重モデル例 (C12)

3. 耐震対策工への作用荷重モデルの検討

本研究では、特殊堤の改良体への水平作用荷重モデル（図-3）の適用性に対して、レベル1地震動相当の設計外力で設計した改良体をレベル2地震動にて加振した場合の抵抗力について評価した。水平作用荷重の設計値と実験値を比較した結果、主働土圧、改良体慣性力及び改良体上載土の慣性力は各ケースともほぼ整合し、受働土圧は全体的に実験値が設計値よりもやや大きく、標準的な改良幅より幅広のケース（C21, C25）の改良体底面摩擦力の設計値は実験値より大幅に大きい結果となった。同時に改良体の外的安定性の評価指標であり、安全率が1.0となる場合の水平震度相当である限界水平震度 k_{hcr}^d （式(1)）を算定し、その設計値と実験値を比較した（図-4）。水平作用荷重及び限界水平震度の設計値と実験値を比較した結果、差異が生じる要因としては、①支持層では地下水位以下でも液状化しない、②土水圧の振動成分の上載荷重がプラスあるいはマイ

キーワード 河川特殊堤, 液状化, 耐震対策, 動的遠心模型実験

連絡先 〒305-0804 つくば市旭1 国土技術政策総合研究所 道路地震防災研究室 TEL 029-864-7695

ナス成分として作用する、③幅広の改良体ではロッキング現象が生じない、の3つの現象と推察できた。これを踏まえ、(i)土水圧振動成分 P_{dw}^d において地下水位以上の上載荷重を考慮する(式(2))、(ii)改良体の底面摩擦力に補正率(0.7)を乗じる、の2つの評価方法の検討内容から限界水平震度 k_{hcr}^{dmT} (式(3))を算定し、その結果を図-4に示した。図-4より検討前後の設計値と実験値を比較すると、1:1の線上に近い値となり、改良体の水平作用荷重モデルの改善点として上記検討内容((i),(ii))が有効であると確認できた。

$$k_{hcr}^d = \frac{P_{PH}^d + F_R^d - P_{AH}^d}{W_Y + W_E} \quad (1), \quad P_{dw}^d(\gamma_i) = \frac{7}{8} \cdot k_h^d \cdot (\gamma_i) \cdot \sqrt{h_i \cdot z_u} \quad (2) \quad k_{hcr}^{dmT} = \frac{P_{PH}^{dm1} + 0.7 F_R^d - P_{AH}^{dm1}}{W_Y + W_E} \quad (3)$$

ここで、式(1)は図-3の作用荷重から求め、 $P_{dw}^d(\gamma_i)$ は水位面下の深さ z_u の拡張動水圧、 k_h^d は水平震度、 γ_i は泥水の単位体積重量、 h_i は液状化層厚、 $P_{PH}^{dm1} \cdot P_{AH}^{dm1}$ は $P_{dw}^d(\gamma_i)$ を考慮した検討後の主働土圧・受働土圧、数式等の上付き添字dは設計値とし、上付き添字eは実験値を示す。C21の実験値は計測不良のため参考値としている。

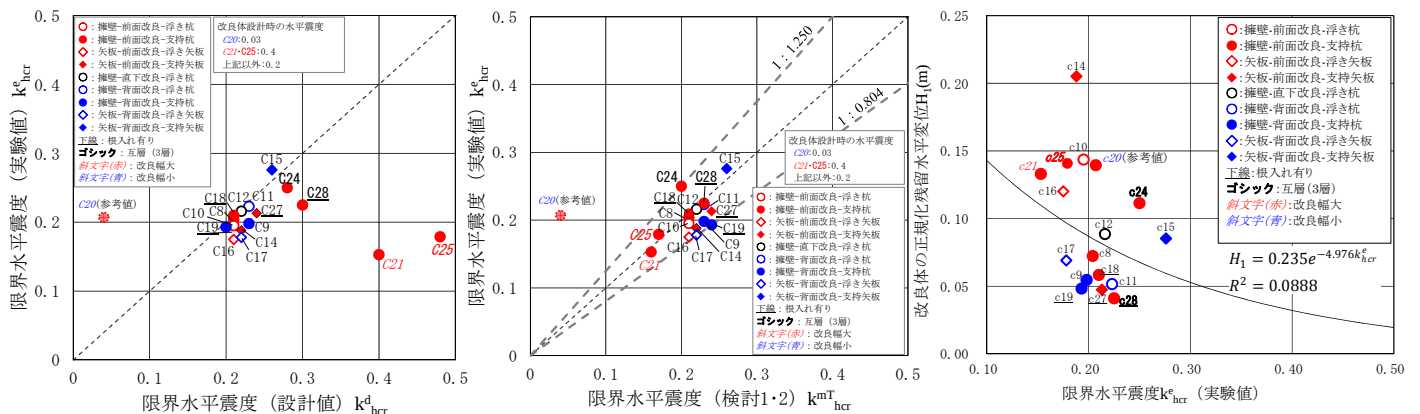


図-4(1) 限界水平震度 (検討前)

図-4(2) 限界水平震度 (検討後)

図-5 耐震対策効果の評価

4. 対策効果の評価手法の検討

各ケースの改良体の残留水平変位量を各改良体の高さで除した値を正規化残留水平変位 H_2 として限界水平震度の実験値 k_{hcr}^e との関係を図-5に整理した。これより、前面改良のうち標準的な改良幅で改良体下部を支持層に十分根入れしていないケース(C8)や躯体直下に改良体を配置しているケース(C12)、改良体下部を支持層に十分根入れをしているケース(C18, C19, C27, C28)は他ケースと比較すると十分な対策効果を発揮していると考えられる。また、今回の実験では、設計水平震度を0.2として耐震設計を行う際には、改良体の残留水平変位量を改良体高さの約1割程度に抑制できた場合に、ある程度の対策効果が見込める結果となった。

5. 結論

改良体への水平作用荷重や限界水平震度の設計値と実験値を比較して設計作用荷重モデルについて2つの評価方法を検討した結果、限界水平震度の設計値と実験値は1:1の線上に近い値となり、水平作用荷重モデルの評価方法の改善点として、土水圧振動成分の上載荷重と改良体の底面摩擦力が有効である結果となった。改良体の残留水平変位量と限界水平震度の関係からは、改良体下部を支持層に十分根入れしたケースは対策効果を発揮したと考えられ、逆に標準的な改良幅より幅広のケースでは十分な効果が発揮されない結果となった。また、設計水平震度を0.2として耐震設計を行う場合に、改良体の正規化した残留水平変位量と限界水平震度の関係が対策効果の評価方法に有効であることを示唆する結果となった。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所耐震技術研究センター動土質研究室：河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)，1997。
- 2) 梶尾辰史，片岡正次郎，金子正洋，谷本俊輔，佐々木哲也：河川の特殊堤の地震被害に関する事例分析と動的遠心模型実験，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.70，No.4，pp. I_718-I_733，2014。
- 3) 梶尾辰史，片岡正次郎，松本幸司，谷本俊輔，佐々木哲也，金子正洋：動的遠心模型実験による河川特殊堤の耐震対策の検討，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.71，No.4，pp. I_697-I_712，2015。
- 4) 梶尾辰史，谷本俊輔，片岡正次郎，松本幸司，佐々木哲也，庄司学：動的遠心模型実験による河川特殊堤の耐震対策工の作用力モデルに関する考察，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.72，No.4，2016。(掲載予定)