

有明海沿岸の河川堤防における実務的耐震性能照査手法

国土交通省筑後川河川事務所 福山 龍一
 国土交通省筑後川河川事務所 宮原 幸嗣
 株式会社建設技術研究所 正会員 ○上村 俊英

1. 概要

河川堤防の耐震性能照査においては、「河川構造物の耐震性能照査指針(案)」(平成19年3月, 国土交通省, 以下「全国指針」と呼ぶ)により, 従前のすべり安全率を指標にした堤防沈下量の推定方法^{*1)}に代えて, 静的FEM解析などの地盤変形解析により堤防沈下量を推定することとしており, その地盤特性を考慮した合理的かつ実務的な照査方法の構築が課題となっている. 本報は有明海沿岸の筑後川下流域における, 砂質土層の液状化の可能性や, 振動に対する粘性土の特性に関する新たなデータや知見を反映した河川堤防の耐震性能照査について報告するものである.

2. 筑後川下流域における地盤特性

筑後川下流域では軟弱な粘性土が液状化層の上位に比較的厚く堆積しており, 砂質土層も細粒分を比較的多く含む箇所があるなど複雑な地層構成になっている. この地盤において自重変形解析手法(ALID^{*2)})を用いて地震時の変形解析を行うこととし, 次の事項を検討した.

- ・ 振動に伴う粘性土層の変形.
- ・ 砂質土層の繰返し三軸強度比 R_L の設定方法.

(1) 地震時の振動に伴う粘性土層の変形について

兵動^{*3)}らの実験によると, 高い初期せん断応力状態下にある高塑性の粘性土は, 繰返し荷重により動的強度が低下することが知られている. 兵動・藤井らは動的強度 R_f と動的外力 R の比(すべり安全率 F_s の逆数)とせん断ひずみ γ との関係を実験的に求めて, 動的すべり安全率 F_s から粘性土層の変形量を推定する方法を提案しており, この手法で堤防の沈下量を推定した.

一方, 自重変形解析により粘性土の軟化を考慮した変形解析を行った. 粘性土の軟化については, 兵動らの繰返し载荷試験による粘性土の動的強度比 R_L から液状化安全率 F_L を算定し, 安田・稲垣式による剛性低下チャート^{*4)} (G_I/σ_c と F_L との関係)を準用した低下剛性を用いた. 粘性土に F_L を考えることは論理性に欠けるが, 粘性土でも繰返し载荷によりある程度過剰間隙水圧が上昇して剛性低下することから, 同方法に準拠することとした.

その結果, 砂層が液状化しない場合に粘性土層厚=1~6.5m に対して, 自重変形解析による方法と兵動らによる動的すべり安全率から推定する方法では同程度の堤防沈下量となっており(表1), 経験的に妥当な程度であると考えた.

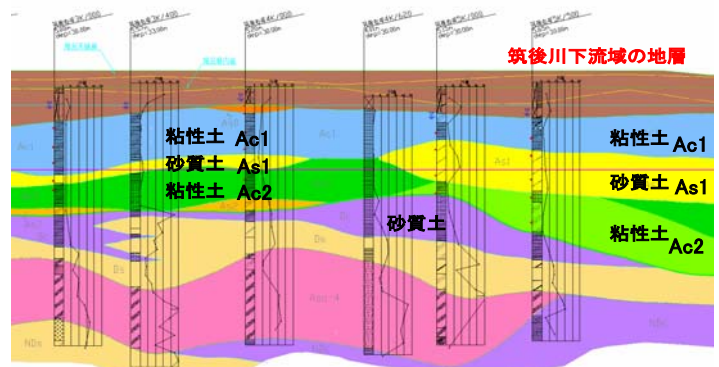


図1 筑後川下流域の地盤構成
(筑後川右岸 3k/000~6k/000 付近)

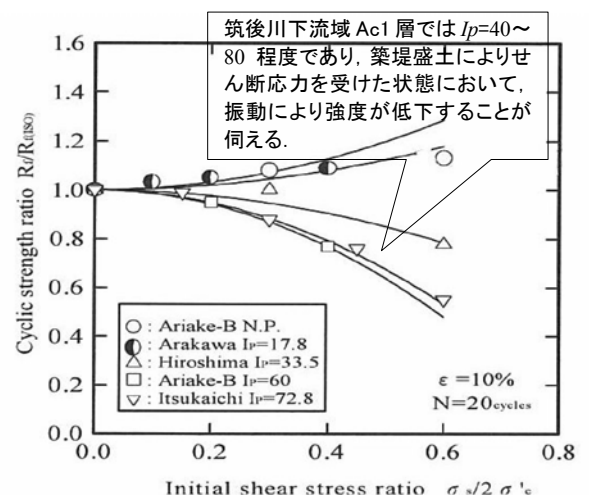


図2 粘性土の動的強度と初期せん断応力
(兵動らによる)

キーワード 河川堤防, 耐震性能, 液状化, 繰返し三軸強度比, 粘性土

連絡先 〒810-0041 福岡市中央区大名 2-4-12CTI 福岡ビル 株式会社建設技術研究所九州支社 TEL:092-714-2211

(2) 砂質土層の繰返し三軸強度比 R_L について

砂質土層の繰返し三軸強度比 R_L については、筑後川沿岸およびその周辺にて実施した非排水繰返し三軸試験結果を参考に設定した。図4に示したように、道路橋示方書（全国指針も同様）に示される N 値および F_c 等から算定する方法と比較すると、換算 N 値が小さい範囲において、繰返し三軸試験結果による場合が大きな R_L となっている。ここで、

- ・砂質土層 As1 は $F_c=5\sim 40\%$ 、粘土含有率=0～20%で同じ調査位置・深度でも不均一であること、
 - ・図4の繰返し三軸試験値の最低値 $R_L=0.20$ において、当該域堤防の最大沈下量が堤防高のおおむね80%と、既往実績（最大沈下量は堤防高の75%）と整合すること（図5）、
- などから、図4に示した非排水繰返し三軸試験結果の下限値を用いることができるとした。

3. 評価と今後の課題

以上の方法により次のように評価している。

- ① 粘性土層の地震時変形を評価する一手法を示し、おおむね穏当な結果を得ることができた。
- ② 液状化の程度を過剰に評価することなく、実績に整合する結果を得ることができた。
- ③ 上記により、より合理的な照査と経済的な対策に寄与できると期待できる。

これらの結果から耐震性能照査の手引きを策定し^{*5)}、実務に供することとした。

一方で、より精度の高い解析モデルの構築と検証や、非排水繰返し三軸強度比算定のより合理性の高い算定方法構築などが今後の課題である。

4. おわりに

本検討は国土交通省筑後川河川事務所に技術検討会を設置し、三浦哲彦佐賀大学名誉教授（委員長）、兵動正幸山口大学教授、永瀬英生九州工業大学教授、松尾修（独）土木研究所耐震総括研究監（当時）のご指導の下に実施しました。末尾になりましたが、ここに記して謝辞を申し上げます。

5. 参考文献

- *1) 建設省河川局（1995）：河川堤防の耐震点検マニュアル(案)、*2) 安田進、吉田望、安達健司、規矩大義、五瀬伸吾、増田民夫(1999)：液状化に伴う流動の簡易評価法、土木学会論文文集 No. 638/Ⅲ-49, 71-89, 1999 など、*3) 藤井照久、福田賢二郎、大中英揮、兵動正幸(2002)：変形を考慮した盛土の耐震評価法、地盤工学会誌 第50巻 第1号(2002) など、*4) ALID 研究会(2007)：2次元液状化流動解析プログラム ALID/Win 第四版、*5) 国土交通省筑後川河川事務所（2008）：筑後川下流域における河川堤防の耐震対策検討の手引き(案)

表1 粘性土層の震動中における堤防沈下量予測結果

地盤モデル	粘性土層厚(砂層厚)(m)	自重変形解析		兵動らによる方法	
		L2-1	L2-2	L2-1	L2-2
Model-1	6.5(1.5)	38	24	20	10
Model-2	4.5(3.5)	16	9	—	—
Model-3	2.5(5.5)	2	1	—	—
Model-4	1.0(7.0)	0	0	9	5

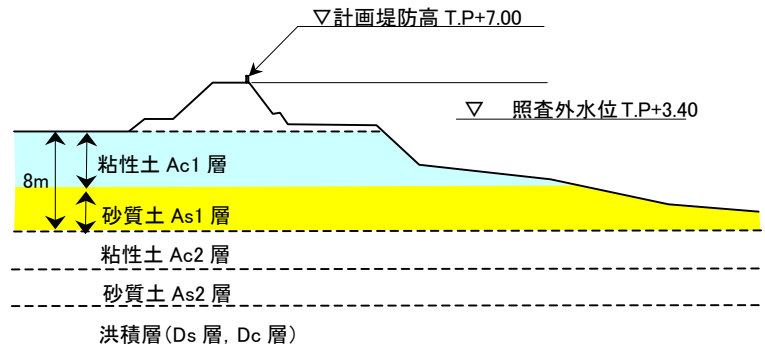


図3 解析モデルの例

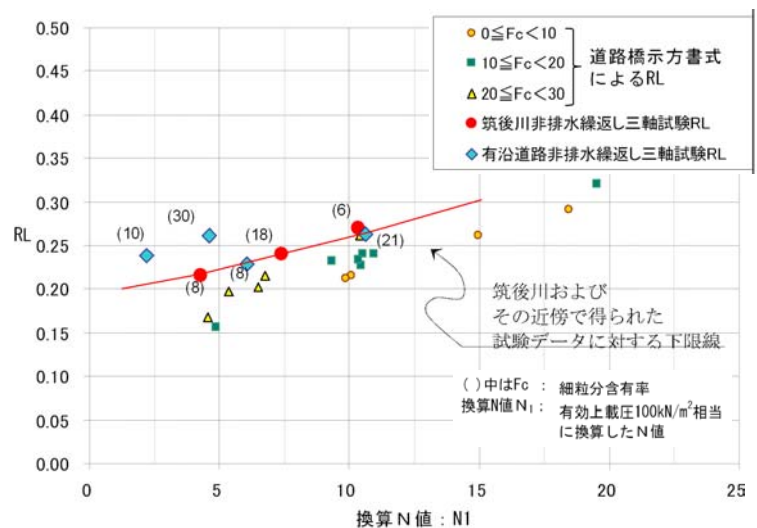


図4 繰返し三軸強度比と換算 N 値との関係

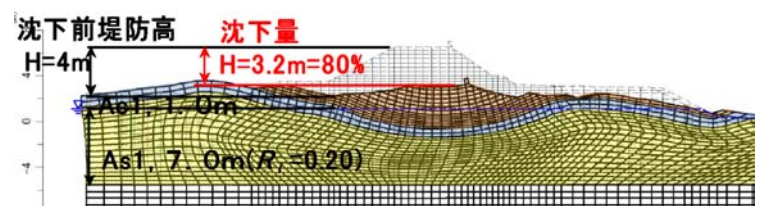


図5 地震時地盤変形解析例(地震動：L2-2)