

I-B421

隅田川スーパー堤防における液状化耐震設計の検討

東京都 土木技術研究所 正会員 森 洋
 東京都 土木技術研究所 正会員 草野 郁
 群馬高専 環境都市工学科 正会員 阿部 博

1. はじめに

阪神淡路大震災以降、河川堤防(土堤)に関する各種設計基準¹⁾²⁾³⁾⁴⁾の改定が行われ、今後の耐震設計の方向性が示された。本報告では、新しい設計基準「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル」に準拠しながら、液状化層を伴う隅田川スーパー堤防の耐震設計手法の評価を行うと共に、当所で開発してきた動的耐震解析プログラムを適応させ、その妥当性を検討する。

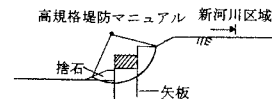


図-1 ΔU法による円弧すべり

2. 「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル」²⁾

地震時の液状化によるすべり破壊に対する安定性は、液状化のおそれのある地層に対して液状化抵抗率(F_L)の計算を行い、過剰間隙水圧比(R_u ; $F_L \leq 1 \rightarrow R_u = 1$, $F_L > 1 \rightarrow R_u = F_L$ ⁷⁾)を考慮したすべり安定計算(ΔU法; 水平震度は堤防盛土には作用させない)を行い、スーパー堤防においては最小安全率(F_s)が 1.2 以上であることを規定している。同マニュアルを、掘削形状の河川背面に盛土し前面に根固めテラス構造を持つ隅田川スーパー堤防の設計断面に適用すると、地震時慣性力を用いた場合(Kh 法)と同様ΔU法でも、図-1に示したような捨石付近を通る浅い位置に安全率最小すべり面が表れてくる。

3. 動的耐震解析プログラム

動的耐震解析の入力地震波形には、海洋型地震に対する耐震性を目的としているため比較的周期が長い八戸波(最大加速度 150gal、継続時間 8.7 秒)を採用した。動的非線形特性には Masing 則に基づいて履歴関数化した修正 Ramberg-Osgood モデル⁵⁾を、数値積分法には Newmark-β 法を採用した。また、有効応力解析における過剰間隙水圧の上昇は、國生ら⁶⁾が提案した解析モデルを豊浦標準砂の非排水中空ねじり繰返し試験結果から改良したもので、サイクリックモビリティによる有効応力回復効果が評価できる。詳細な解析プログラムの内容は文献 7)8)9)を参照されたい。液状化を考慮する場合に決定する液状化強度応力比($R_{L(20)}$)は、細粒分含有量が液状化強度に強く影響する東京低地の自然堆積地盤を対象として決定した東京都の提案式を用いている¹⁰⁾。

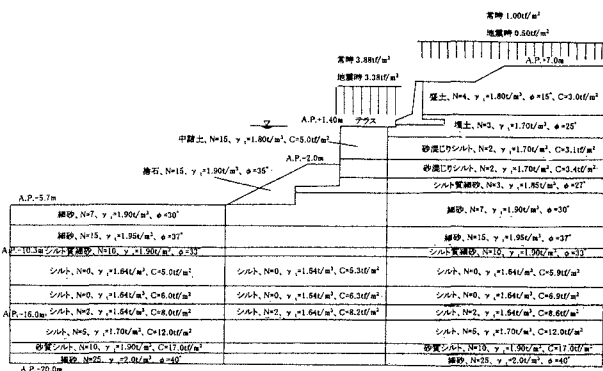


図-2 検討断面図

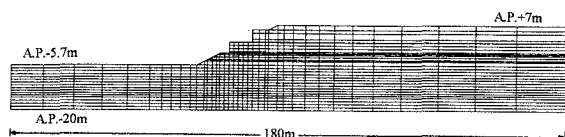


図-3 有限要素メッシュ

4. 隅田川スーパー堤防の耐震設計例

図-2には、隅田川豊島橋付近でボーリング調査した結果を参考にして、有効上載圧に伴って変化する材料物性を 37 区分に分けた検討断面図を示した。地盤条件

Key Word: Dynamic analysis for Sumida-gawa super levee, Factor of safety, Circular arc method

〒136 東京都江東区新砂 1-9-15, TEL 03-5683-1530, FAX 03-5683-1515

は、A.P.-10m 付近まではN値が約10前後の砂層があり、その下に軟弱なシルト層が5m程度堆積している。粘性土層に対しては、堤内地地盤の強度に対する盛土荷重による強度増加等を考慮し決定している¹¹⁾。図-3には、有限要素メッシュ(節点数1035、要素数970)を示した。図-4には、「道路橋示方書;No.1」と「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル;No.2」に示されている条件でΔU法による最小すべり安全率を示した。また、全応力解析(No.3)では、式(1)を用いて各要素毎に F_L を算出し、図-2に示した材料物性ブロック毎に F_L を決定し、ΔU法による安定計算を行った。有効応力解析(No.4)では、式(2)で表わしたRuの分布図(図-5を参照)から図-2に示した材料物性ブロック毎のRuを決定し、ΔU法による安定計算を行った。

$$F_L = R_{L(20)} / L_{\max} = R_{L(20)} / [\tau_{\max} / \sigma'_v] \quad \text{----- (1)}$$

($L_{\max}$:最大せん断応力比、 $\tau_{\max}$:解析より求めた最大せん断応力、 σ'_v :有効上載圧)

$$Ru = \Delta U_v / \sigma'_v \quad (\Delta U_v:鉛直方向の過剰間隙水圧) \quad \text{----- (2)}$$

図-4から、全応力解析と有効応力解析で得られた円弧すべり面形状は比較的良好一致しているが、同マニュアル等で得られた円弧すべり面(No.1、No.2)とは異なった形状となった。また、どの計算条件でも円弧下端はほぼA.P.-10m付近に達する。これは、有効応力解析より得られたRuの分布図(図-5)に比べて、同マニュアルで得られた過剰間隙水圧の発生範囲が異なるため、これが円弧すべり面形状の差となったと考えられる。

5. まとめ

「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル」を液状化を伴う隅田川スーパー堤防に適用した場合、安全率最小円弧すべり面は浅い位置に表れる傾向にあるため、出来るだけ詳細に地盤物性を分け、同時にΔU法に基づく動的耐震解析においても検討した。同マニュアルと動的耐震解析より得られる過剰間隙水圧の発生領域に差が見られるため、最小円弧すべり面は異なる形状となった。

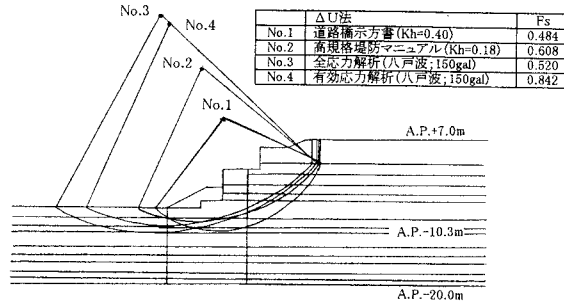


図-4 各種計算手法による安全率最小円弧すべり面

参考文献

- 1)建設省土木技術研究所日本港湾協会(1995):河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)。
- 2)高規格堤防施工法検討委員会(1998):高規格堤防盛土設計・施工マニュアル、財団法人リバーフロント整備センター。
- 3)日本河川協会編(1993):建設省河川砂防技術基準(案)同解説。
- 4)社団法人日本道路協会(1996):道路橋示方書・同解説<Ⅴ耐震設計編>。
- 5)龍岡 文夫、福島 伸二(1978):砂のランダム繰返入力に対する応力～ひずみ関係のモデル化について(1)、生産研究第30巻9号、pp.26-29。
- 6)國生 剛治、江刺 靖行、桜井 章雄(1982):砂層の液状化現象についての数値シミュレーション、電中研報告、No.391023。
- 7)阿部 博、草野 郁(1988):液状化時の盛土と地震の耐震安定性評価のためのシステム“TOTAL”について、昭 63.都土木技研年報、pp.253-273。
- 8)阿部 博、草野 郁(1990):土構造物の液状化解析、H2.都土木技研年報、pp.307-317。
- 9)阿部 博、森 洋、福武 毅芳、藤川 智(1997):兵庫県南部地震で被災した河川堤防の調査と液状化解析、土木学会論文集、No.568 III/-39、pp.89-99。
- 10)阿部 博、草野 郁(1996):東京低地における地盤の再液状化現象、土木学会論文集、No.554 III/-37、pp.157-171。
- 11)森 洋、草野 郁、小川 好(1998):動的有限要素解析を用いた安全率評価、H10.都土木技研年報、pp.153-168。

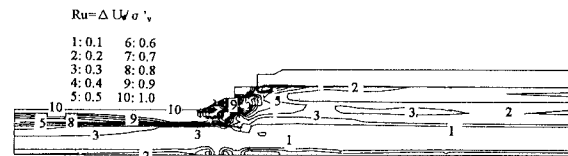


図-5 有効応力解析より求めた Ru の分布図