

擁壁の耐震性照査手法に関する一考察

嘉門 雅史¹・西岡 元次²・中廣 俊幸³・新田 耕司⁴・井上 裕司⁵

¹正会員 工博 京都大学教授 防災研究所 (〒611 宇治市五ヶ庄)

²大阪市計画調整局 (〒530 大阪市北区中之島 1-3-20)

³正会員 中央復建コンサルタンツ(株) 第二設計部 (〒532 大阪市淀川区西宮原 1-8-29)

⁴正会員 中央復建コンサルタンツ(株) 第二設計部 (〒532 大阪市淀川区西宮原 1-8-29)

⁵正会員 中央復建コンサルタンツ(株) 第二設計部 (〒532 大阪市淀川区西宮原 1-8-29)

兵庫県南部地震により神戸阪神間における擁壁等の抗土圧構造物も多大な被害を受けた。被害のパターンは転倒、傾斜、水平移動、側壁部材のせん断破壊、隅角部の曲げ破壊等種々であったが、従来の擁壁の設計は主に安定性照査に着目した震度法が主体であり、変位に関しては特に検討されていなかった。そこで本研究では鉄道や道路施設の擁壁のような重要構造物で、大規模地震時でも変位や部材耐力に着目しなければならない場合は、地盤と構造物の相互作用を考慮した検討手法を適用することが望ましいとし、被災した擁壁を対象とした種々の解析結果をもとに擁壁の安定性照査を行う一手法について提案する。

Key Words: Seismic evaluation, retaining wall, dynamic analysis, responded displacement method, seismic coefficient method

1. はじめに

擁壁等の抗土圧構造物の耐震性を照査する手法には震度法、応答変位法、および動的解析法等がある。これらの内、震度法は地震力を水平震度に相当する静的荷重に置き換え、簡便に計算できることから、最も一般的に用いられてきた。しかし、この手法では地震時の地盤および構造物の動的特性を現実的に評価できず、特に大規模地震を対象とした場合で、構造物の変位・変形量、部材応力度が問題となる場合は適用できない。一方、応答変位法や動的解析法ではそれらの問題への対応は可能であるが、転倒、滑動等の安定性の照査ができない。

そこで本研究では、兵庫県南部地震により被害を受けた神戸阪神間の擁壁を例に取り、大規模地震を対象とした場合の上記各手法の適用性を検証するとともに、応答変位法による擁壁の安定性照査の一手法について提案する。

2. 目的と方法

(1) 目的

次の2点について検証することを目的とする。

- (a) 各種耐震検討手法の適用性
- (b) 応答変位法による安定性照査手法

(2) 方法

各種耐震検討手法の適用性については、兵庫県南部地震により被害を受けた神戸・阪神間のL型擁壁を時刻歴応答解析でシミュレートし、得られた地盤の応答加速度から式(1)により¹⁾震度を設定、レベル2以上の地震動に対する現行震度法の適用性を検証する。検討モデルは図-1に示すとおりとし、入力地震波は兵庫県南部地震時にポートアイランドで観測されたものを適用する。

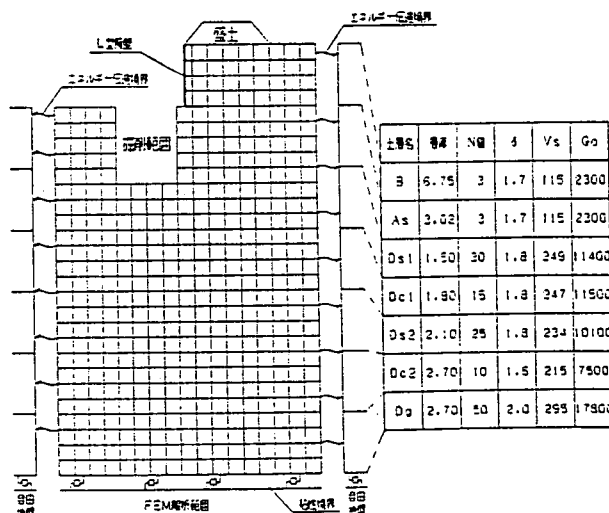
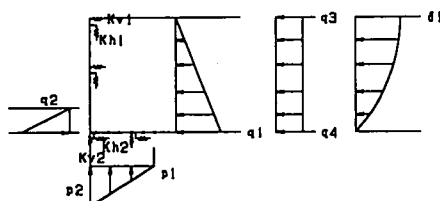


図-1 神戸・阪神間の被災L型擁壁の時刻歴応答解析モデル図

$$k_h = 1/3 (\alpha/g)^{1/3} \quad (1)$$

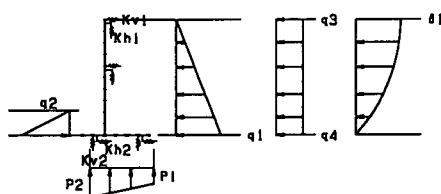
ここに、 k_h ：設計水平震度
 α ：地表面における応答加速度[Gal]
 g ：重力加速度[Gal]

一方、応答変位法による安定性評価では、仮想地盤に設置された壁高 5m のL型および逆T型擁壁を対象に検討を行うものとする。解析は図-2 に示すモデルで行うものとし、図にあるように地盤バネを介した擁壁に常時荷重、地震時慣性力および強制変位を作用させる。



q1	q2	q3	q4	P1	P2	delta l
10.9	3.42	0.28	0.28	0.00	23.4	3.0
t f / m ²	t f / m ²	t f / m ²	t f / m ²	t f / m ²	t f / m ²	cm

(a) L型擁壁



q1	q2	q3	q4	P1	P2	delta l
10.9	3.42	0.36	0.36	1.81	21.5	3.0
t f / m ²	t f / m ²	t f / m ²	t f / m ²	t f / m ²	t f / m ²	cm

(b) 逆T型擁壁

図-2 応答変位法解析モデル図

今回の検討では構造物と地盤バネの評価方法を特徴としており、地盤および構造物の変形と変形の非線形特性を考慮するために両者を次のように設定するものとする。

①構造物条件

M-φ関係を図-3に示すようなトリリニアモデルと仮定する。

②地盤と構造物の相互作用

地盤と構造物の境界における地盤バネを図-4に示すような等価バネでモデル化する。

- 鉛直バネ
 - 圧縮：弾完全塑性、制限値は主動土圧
 - 引張：抵抗しないものとし、0とする

- 摩擦バネ：弾完全塑性、
制限値は $\tau_u = C + \sigma_n' \tan \phi$

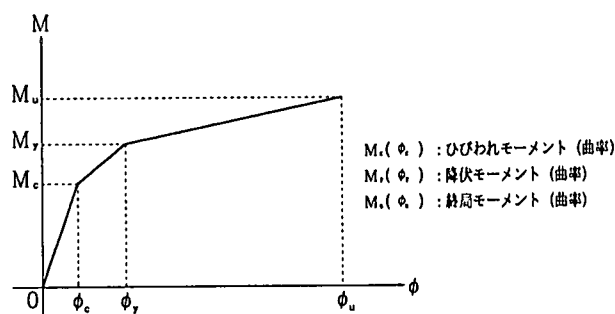


図-3 構造物の材料非線形特性

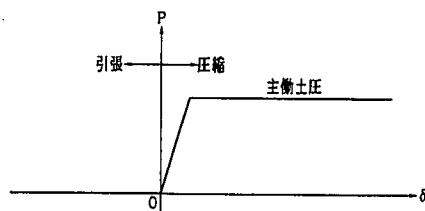


図-4 地盤バネモデル図

さらに、ここでは安定性照査の指標として震度法を、安定性照査の適用性の可否を確認するために時刻歴応答解析も併せて検討を行う。図-5 に時刻歴応答解析のモデルを示す。

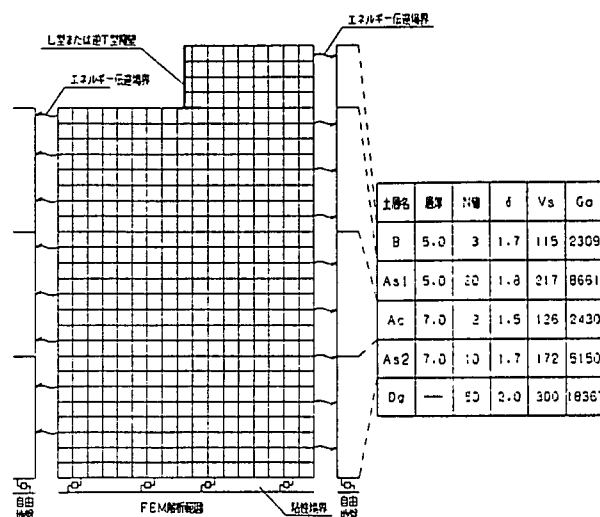


図-5 時刻歴応答解析モデル図

なお、震度法および応答変位法で用いる応答加速度、応答変位は重複反射理論による水平地盤の地震応答解析から得られたデータによるものとし、入力地震動は東大阪地域の大阪市想定地震動とした。

3. 検討結果

(1) 各種耐震検討手法の適用性

図-6 に時刻歴応答解析結果の変形図として、盛土頂部、擁壁天端部および掘削部における土留壁天端の変形量を示す。このうち土留壁では、地震発生時に計測管理が行われていたために、実測データがあり、今回の推定値である 31 mm は実測値に概ね近い値であった。

しかし、断面力については、図-7 から時刻歴応答解析では相当大きな断面力が表れることが分かり、現行の設計手法である限界状態設計法に適用することは難しいものと考えられる。これは、兵庫県南部地震のようなレベル 2 地震では、構造物および地盤が塑性領域に達するために生じた結果と思われる。

また、震度法による検討については転倒の安定性が損なわれるという結果が得られた。実際には擁壁は転倒しておらず、検討結果は実現象と一致していないが、レベル 2 のような大規模地震を対象にした場合では問題が生じることは確認できる。

以上より、耐震検討手法の適用性については次に挙げるようなことが言える。

- ①変形量の予測については時刻歴応答解析でシミュレートできるものと判断できる。
- ②時刻歴応答解析では、構造物と地盤が弾性（等価線形）でしか取り扱えないため、レベル 2 地震のような大地震を対象とした場合、解析で得られた結果は現行の設計手法である限界状態設計法に適用しにくいものと考えられる。
- ③式(1)により設定した震度を用いた震度法による耐震性照査は概ね問題ないものと思われる。

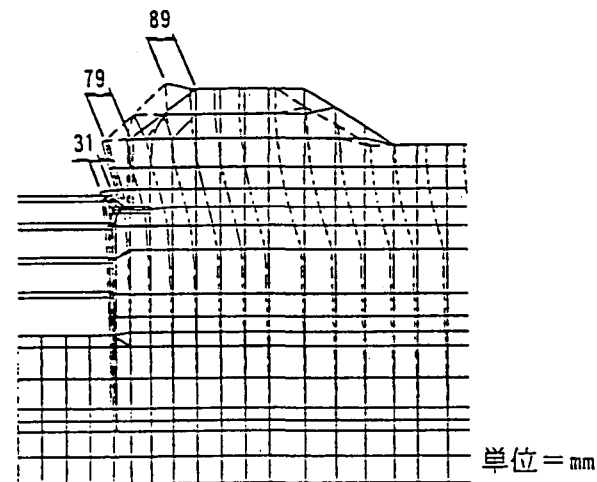
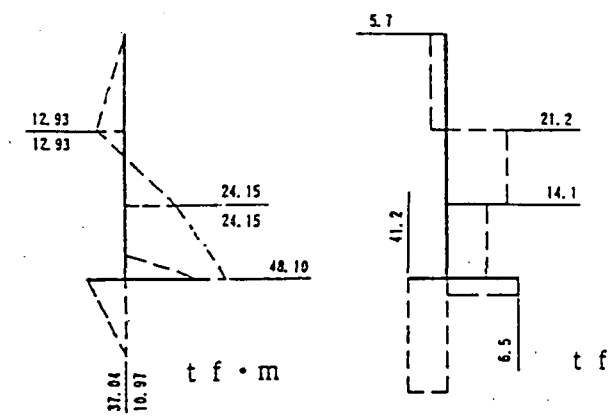


図-6 阪神地域擁壁の時刻歴応答解析による変形図

(2) 応答変位法による安定性照査

表-1 に震度法による安定性照査の結果をしめすが、表から L 型、逆 T 型擁壁ともに滑動で安全率を割ることが分かる。



(1) 曲げモーメント図 (2) 断せん力図

図-7 阪神地域擁壁の時刻歴応答解析による断面力図

表-1 震度法による安定性照査結果

擁壁形式	安全率		
	滑動	転倒	鉛直支持
L 型	0.90 (<1.0)	1.35 (>1.0)	1.48 (>1.0)
逆 T 型	0.93 (<1.0)	1.74 (>1.0)	1.16 (>1.0)

また、各手法による断面力図を図-8 に示すが、図から分かるように、時刻歴応答解析の結果が他の検討手法の結果に比べて大きい。これは、時刻歴応答解析では、構造物および地盤の降伏状態、構造物と地盤の境界面における不連続性によるすべりやはく離といった非線形挙動がシミュレートできていないために生じた結果と予想される。

しかし、構造物や地盤を塑性領域で取り扱う必要があると思われる兵庫県南部地震のようなレベル 2 の地震に対しては、動的解析では高度な理論と複雑なプログラミングが必要であり、現段階では充分確立されていない。

よって、擁壁の安定性、変位および部材応力を動的解析で照査することは難しいため、今回は安定性照査については応答変位法についてのみ整理した。

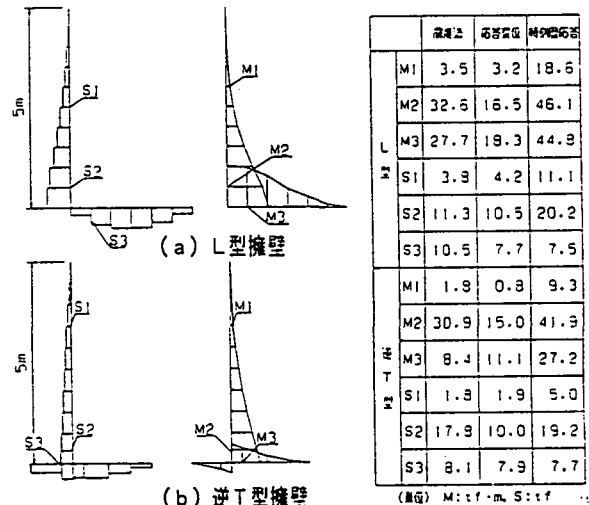


図-8 各手法による L 型および逆 T 型擁壁の断面力図

図-9, 10, 11 に地震荷重(慣性力と強制変位)と変位, 回転角および曲げモーメントの相関図を示すが、図-9, 10 からL型擁壁は70%, 逆T型擁壁では38%の地震荷重が作用した時にすべりが発生するものと思われる。これは、滑動の安全性が損なわれた震度法による安定性照査結果と良く合っている。

また、図-11 から発生曲げモーメントが耐力以内に充分収まっていることが分かり、構造的には問題ないものと考えられる。

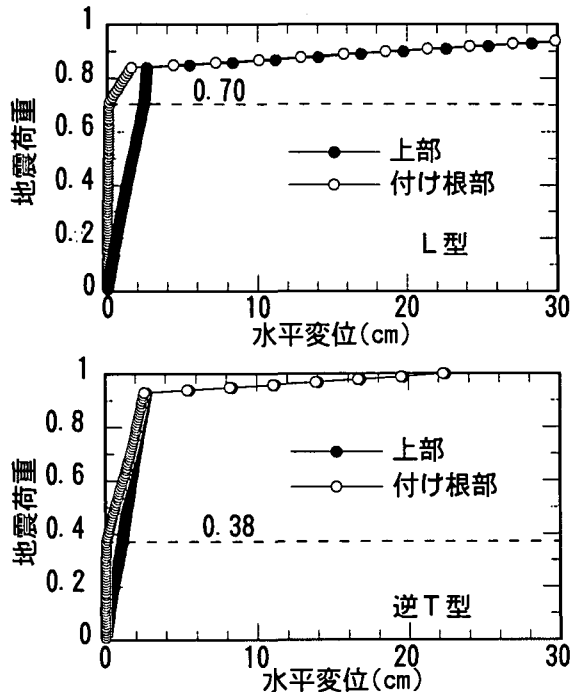


図-9 地震荷重と水平変位量の関係

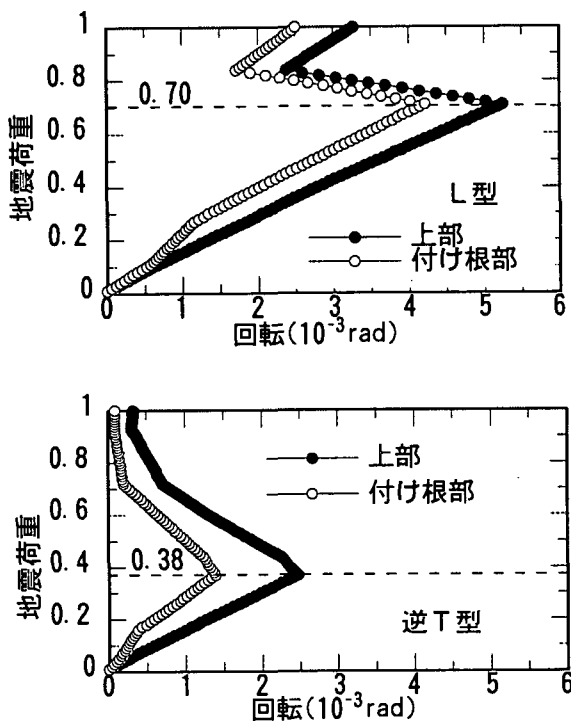


図-10 地震荷重と回転角の関係

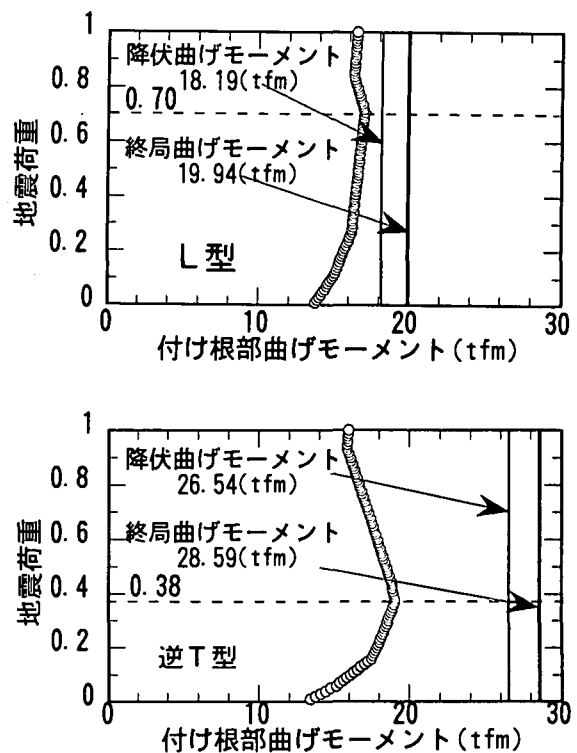


図-11 地震荷重と曲げモーメントの関係

なお、発生曲げモーメントが小さい理由は擁壁のすべり発生と構造物の非線形性を考慮したことによるものと思われる。

4. まとめ

今回の検討で得られた知見は次の通りである。

- ①応答加速度から震度を設定し、従前の震度法で片持ち式擁壁の安定性を照査することは概ね問題はないものと思われる。
- ②構造物と地盤バネの非線形特性を考慮した応答変位法で、耐震性を照査すれば擁壁の安定性、部材応力および変形も予想できるものと思われる。

5. おわりに

本研究は、震度法、応答変位法ならびに動的解析(時刻歴応答解析)により片持ち式擁壁の耐震性照査を行い、各種耐震検討手法の適用性と安定性照査が応答変位法で概ね可能なことを確認した。今後は、さらに以下の事項について検討を行い、擁壁の耐震性照査手法の一般化に役立たせたいと考えている。

- ①壁高と照査項目(部材耐力・変形、安定性)の関係
- ②従来の震度法での安全率と応答変位法で得られた情報の関係
- ③U型および重力式擁壁の耐震性照査方法

参考文献

- 1) 野田節男, 上部達生, 千葉忠樹: 重力式岸壁の震度と地盤加速度, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第4号, 1975年12月