

# III-B 333 補強土壁の耐震性に関する振動台実験（その2） —安定解析による検討—

建設省土木研究所動土質研究室 正会員 松尾 修  
同 上 正会員 堤 達也  
同 上 正会員 林 裕士  
復建調査設計技術研究所 ○正会員 福田 直三  
同 上 地質調査部 正会員 若槻 好孝

## 1. はじめに

補強土壁の地震時安定性については、これまで各種室内実験や実地震の被災の研究が行われている。耐震設計の考え方もすでにマニュアルとして示されているが<sup>1) 2)</sup>、近年の大地震による被災経験をふまえ、補強土構造物についても地震時の安定性を再度評価する必要があると考え、筆者らはジオグリッド補強土壁（分割型木製パネル壁面工使用）の振動台実験3ケースを行った<sup>3)</sup>。この振動台実験における破壊モードは補強材長と補強土壁の高さ比が $L/H=0.4$ および $0.7$ の両者ともすべり破壊によるものであり、滑動や転倒の破壊は生じなかった。この結果をふまえ、土木研究所のマニュアル<sup>1)</sup>（以下マニュアルと称す）に基づいた外的安定性について考察する。

## 2. 地震時安定検討の概要

**安定計算方法：**マニュアルによる安定検討の考え方は、内的安定として、補強材の破断および引抜けの検討（震度法による円弧すべりを基本）によって補強材の敷設間隔と敷設長の基本を求め、外的安定として補強領域を擬似的な重力式擁壁として滑動、転倒、支持力の検討および全体としての円弧すべりの検討によって、補強仕様を決定する。各安定照査基準は表1に示すとおりである<sup>1)</sup>。

**計算条件：**計算で対象とした補強土壁の仕様は図1に示す3ケースである。実験では盛土材は標準砂を相対密度 $D_r \approx 60\%$ に締固めており、湿潤密度 $\rho_d$ は $1.50 \sim 1.51 \text{ g/cm}^3$ 、内部摩擦角 $\phi' = 42^\circ$ である<sup>3)</sup>。

## 3. 安定計算結果と考察

**円弧すべり安定：** $F_{sd}=1.0$ となる限界の加速度は、CASE 1～3において、 $348 \text{ gal}$ 、 $490 \text{ gal}$ 、 $394 \text{ gal}$ であった。すなわち $L/H$ が大きくなると耐震性能が増加している。各ケースの実験において、すべり面が形成された加速度は、それぞれ $370 \text{ gal}$ 、 $575 \text{ gal}$ 、 $375 \text{ gal}$ であり、さらに $100 \text{ gal}$ を増加させて実験を終えている。最終の加振条件におけるすべり安全率 $F_{sd}$ はそれぞれ $0.87$ 、 $0.82$ 、 $0.95$ であり、 $F_{sd}=1.0$ を下回っても壊滅的な破壊は生じていないことから、補強土壁が靱性（ねばり）に強い特性があるといえる（図2、表2参照）。

**滑動の安定：**加振時の滑動の安定において、補強領域底面の滑動の摩擦係数 $\mu$ を $\tan \phi$ とした場合と設計許容値 $0.6$ とした場合の加速度と安全率の関係を表2に示した。これより、 $\mu = \tan \phi$ とした場合に $F_{sd,s} = 1.0$ の限界状態となる加速度は円弧すべりより大きく、安定性が高い結果となり、これは実験の結果と整合する。なお、 $\mu = 0.6$ の場合には円弧すべりと同程度あるいはやや小さめの加速度となっている。

表1 安定照査基準

| 検討モード |                | 常 時          | 地震時           |
|-------|----------------|--------------|---------------|
| 内 的   | 円弧すべり $F_{sd}$ | 1.2          | 1.0           |
|       | 引抜け $F_{sp}$   | 2.0          | 1.2           |
| 外 的   | 滑動 $F_{sd,s}$  | 1.5          | 1.2           |
|       | 転倒 $e$         | $\leq L/6$   | $\leq L/3$    |
|       | 支持力 $q_{max}$  | $\leq q_d/3$ | $\leq 2q_d/3$ |
|       | 円弧すべり $F_{sd}$ | 1.2          | 1.0           |

(注)e: 偏心距離、L: 補強領域の幅、 $q_d$ : 極限支持力

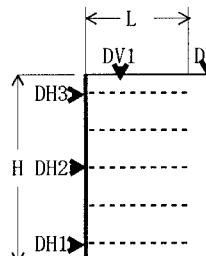
|                                                                                     |       | (注) CASE2のDV2は補強領域内 |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------|------|------|
|                                                                                     |       | CASE 1              | 2    | 3    |
|  |       |                     |      |      |
|                                                                                     | H (m) | 1.0                 | 1.0  | 1.4  |
|                                                                                     | L (m) | 0.41                | 0.68 | 0.54 |
|                                                                                     | L/H   | 0.4                 | 0.7  | 0.4  |

図1 検討モデルの仕様

**転倒の安定：**表2に転倒の安定性として各ケースの限界状態（ $e=L/2$ ）および設計許容状態（ $e=L/3$ ）の加速度を示した。同表より、限界状態では何れのケースとも円弧すべりの加速度より大きいと同等であり、転倒破壊モードは生じなかった結果となり、実験結果と整合する。

**外的安定の安定性の比較：**以上の3つの破壊モードにおいて、限界状態においては円弧すべりが安定を支配している。しかしながら、マニュアルの許容値によれば、 $L/H=0.4$ では転倒モードが、また、 $L/H=0.7$ では滑動モードが安定性を支配することになっている。すなわち、マニュアルではこれらの破壊モードに対して補強材の敷設仕様が決定されることから、限界状態に対してはある程度安全度を有するものと評価できる。

**安全率と補強土壁の変位の関係：**図2は加振加速度と円弧すべりおよび滑動の安全率の関係並びにモデルの天端沈下および壁面部の水平変位の関係を整理したものである。同図から、円弧すべりの安全率が1.0となる加速度レベルから変位量が大きくなる傾向が分かる。また、 $L/H$ が大きくなると、補強領域の水平変位および天端沈下を低減させる効果が発揮されることが分かる。ここで、仮に壁面工の部分勾配（壁面中央のはらみ出しの勾配）増加が3%を越えたときに補修が必要とすれば、これに対応する各ケースの水平変位、加速度およびすべり安全率は表3のように示される。同表には $F_{sd}=1.0$ の限界状態における壁面工の勾配増分も参考に示している。この結果から壁面工の有害な変位を避けるためにある程度の安全率の余裕が必要であることが示唆される。

#### 4. まとめ

補強土壁の振動台実験の結果についてマニュアルによる外的安定性の検討を行った。実験条件に基づいた安定検討では348gal～490galで円弧すべりが $F_{sd}=1.0$ となるが、補強土壁の変形を生じる。はらみだしがほぼ許容できる加速度は300gal～390galとなる。一方、マニュアルで規定する条件では220gal～430galが許容される加速度となる。このことからマニュアルによる安全率は、破壊状態に対してはある程度の安全率の余裕を含んでおり、また、その条件で設計されれば復旧対策を必要としない使用限界の変形状態に抑えることができることが分かった。

**参考文献** 1)建設省土木研究所：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル、土木研究所資料、第3117号、1992。2)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物設計標準・同解説、土構造物、丸善1992。3)林裕士他：補強土壁の耐震性に関する振動台実験、土木学会第51回年次学術講演会（投稿中）

表2 各種破壊モードにおける限界状態の加速度の比較

| 破壊モード            | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 | 備考                 |
|------------------|--------|--------|--------|--------------------|
| 円弧すべり            | 348    | 490    | 394    | $F_{sd}=1.0$ (設計)  |
| 滑動 ( $\mu=0.9$ ) | >440   | >625   | >425   | $F_{sd}=1.0$       |
| ( $\mu=0.6$ )    | (364)  | (432)  | (356)  | (設計 $F_{sd}=1.2$ ) |
| 転倒 ( $e=L/2$ )   | >440   | >625   | 398    | 限界状態               |
| ( $e=L/3$ )      | (260)  | (625)  | (223)  | (設計)               |

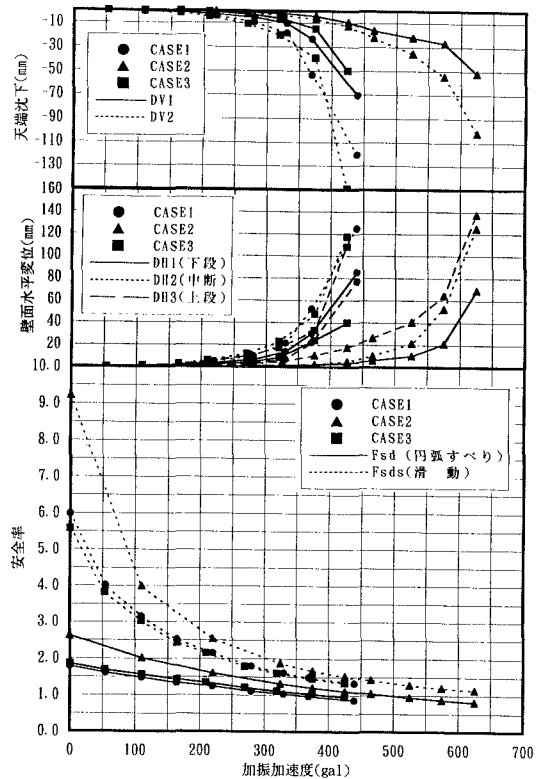


図2 加振時の円弧すべり・滑動の安全率と変形の関係（ $\phi=42^\circ$ ）

表3 壁面工の勾配増分と安全率等の関係

|                      | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
|----------------------|--------|--------|--------|
| はらみだし量, mm           | 15     | 15     | 21     |
| 加速度, gal             | 300    | 390    | 310    |
| すべり安全率 $F_{sd}$      | 1.1    | 1.2    | 1.1    |
| $F_{sd}=1.0$ 時の勾配, % | 7      | 7      | 9      |