

(64) 盛土の地震応答と地盤構造の関係 (その10)  
 - 模型実験結果のまとめと地震応答解析 -

（動鉄道総合技術研究所 那須 誠）

1. まえがき

これまでに地震被害例を地盤構造に着目して調べた結果から、各種構造物の地震被害は力学的性質の異なる地盤の境界部等で発生し易く、しかも各種構造物は地盤構造に対応して変形していることが明らかになっている<sup>1)</sup>。構造物の地震被害発生機構を明らかにするためにに行った、2次元地震応答解析や2次元と3次元の模型振動実験、現地振動測定等の結果は既に報告済である<sup>2) - 8)</sup>。今回は模型実験結果のまとめと、埋没谷の模型振動実験結果の3次元地震応答解析結果を報告する。

2. 地震被害が生じ易い地盤構造分類

先ず、これまでの事例調査結果<sup>1)</sup>から構造物に地震被害が生じやすい地盤構造を分類すると表1のようになる。即ち、地盤の中間に（極）軟弱粘性土層（腐植土層も含む）がある上下逆転型地盤で、さらに堆積構造に傾斜がある地盤で被害が生じ易い。なお、盛土は(a)~(e)で最上層の粗粒土混じり土層Aが無く、その下の粘性土層のみが存在する

表1 構造物に地震被害が生じ易い地盤構造

ときでも被害を受け易いし、その状態の(a)や(e)の右側が枝谷のときも被害を受け易い。建物や橋梁が最上層の土層Aがあるとき、即ち上下逆転型地盤で被害が多いが、それは粗粒土まじり土は軟弱粘性土と比べると圧縮性が小さいので、その下の軟弱粘性土に生じた動きをそれらの構造物にそのまま伝えるためと思われる。

なお、(d)の谷構造型変位型地盤では軟弱粘性土層Bの底面が谷軸方向に水平な場合と傾斜している場合がある。前者では建物と橋梁等が、後者ではそれらの外に盛土も被害を受け易い<sup>5)</sup>。

3. 模型振動実験結果

図1は表2の模型振動実験<sup>3) - 7)</sup>で得られた、盛土横断方向(H<sub>r</sub>方向)加振時の盛土法尻のH<sub>r</sub>方向加

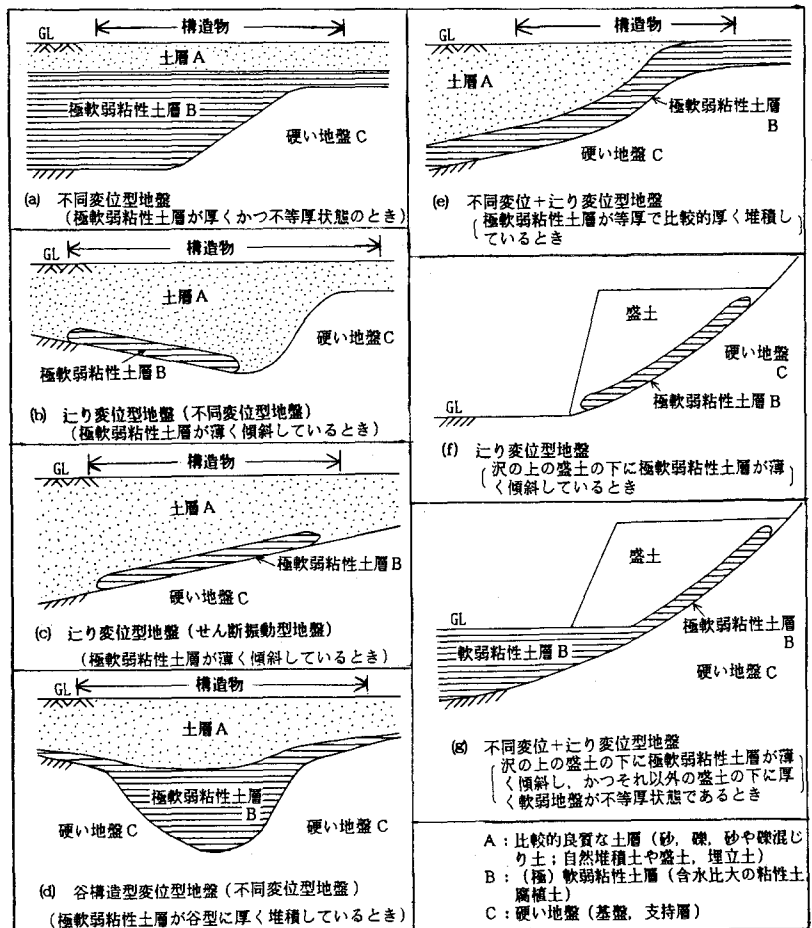


表2 模型振動実験における盛土法尻の加速度応答倍率

Case	軟弱層厚 D (cm)	谷底傾斜角 (°)	応答倍率 $H_r/H_B$	振動数 (Hz)	備考
A1	10	30	24.2 1.8	11 11	軟弱層底面が単純に傾斜
A2	20	30	49.2 7.2	9 9	
A3	40	30	64.7 27.5	6.1 6.1	
B	20	0	71 71	14 14	埋没谷底が水平
C	20	30	35 13	11.3 11.3	埋没谷底が円錐状
D	11.4	8	86.9 14.1	19.4 19.4	埋没谷底が傾斜 (大きい谷)
E	11.4	8	69.5 31.2	25.9 25.9	埋没谷底が傾斜 (小さい谷)
F	4.95	8, 30	38.4 2.4	21 21	枝谷と濁れ谷の交点

- (1) Dは盛土中心直下の軟弱層厚さである。
- (2) Case-FのDは左法尻下で1.83cm, 右法尻下で20cm (平均10.9cm)
- (3)  $H_r$  方向加振時の  $H_r$  方向加速度の応答倍率。
- (4) 応答倍率の上段と下段は, 軟弱層の厚い方と薄い方の倍率を示す。

速度の応答倍率を示す。Case-A1 ~A3は盛土の下の軟弱層底面が単純に傾斜した2次元モデル, Case-B~Fは盛土が埋没谷の上ののっている3次元モデルである。

(1) Case-A1~A3では軟弱層厚さ(盛土中心直下)Dが大きくなるとともに応答倍率が大きくなり, しかも両法尻の値に差が生じており不同変位が生じている。

(2) 軟弱層底面が谷形状をなして, かつ谷底が谷軸方向に水平なCase-Bでは, 軟弱層底面が単純に傾斜したモデルCase-A2よりも振動が大きく生じている。しかし盛土底面に不同変位は生じていない。

(3) それらが谷形状をなして, かつ谷底が谷軸方向に傾斜し谷幅も一定でないCase-D, Eでも, 軟弱層底面が単純に傾斜したモデルCase-A1よりも振動が大きく生じ, かつ盛土底面に不同変位も生じているが, それは大きい谷の方が大きい。

なお盛土が埋没谷を跨ぐモデルのうち, Case-B, D, Eでは特に振動が大きく増幅している。

(4) 枝谷と濁れ谷の交点に存在するCase-Fでは不同変位が大きく生じている。また埋没谷底が盛土の縦横断方向に傾斜しているCase-Cでも不同変位が大きく出ている。

#### 4. 解析の概要

##### 4.1 解析モデルと加振方法

ここでは2.で示した地盤構造の内, 既に模型振動実験が行われた3次元モデル Case-B(図2, 実物の1/40相当)<sup>4)</sup>の解析結果を示す。Case-Bは埋没谷の底面が谷軸方向に水平なモデルで, 水深第一高架橋や大和デパート建物等が該当するが, 盛土の被害は見当たらないようである。

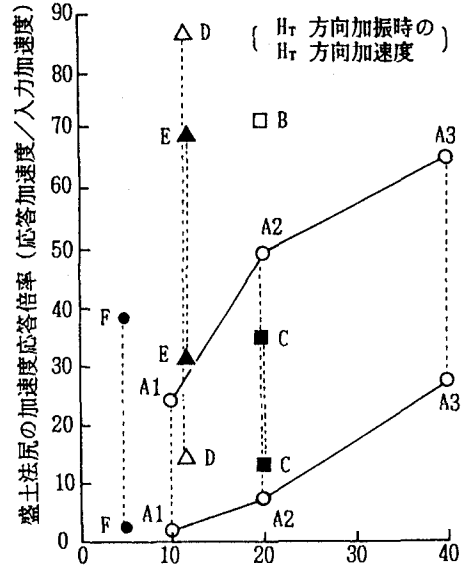
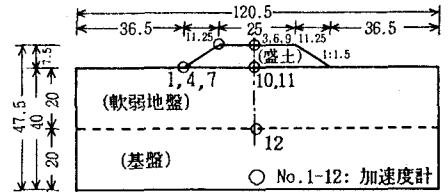
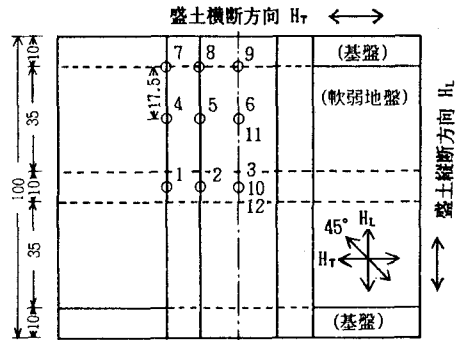


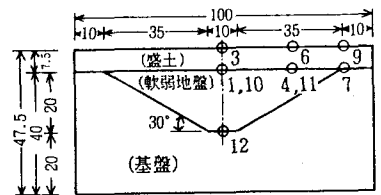
図1 模型振動実験結果(表2参照)



(a) 正面図



(b) 上面図



(c) 右側面図 (単位: cm)

図2 解析模型の大きさ(Case-B)

解析モデルの軟弱地盤は粘性土の単一層からできている。減衰定数0.05以外の材料定数を表3に示す。モデルの底部（石膏製）を、盛土の横断方向( $H_r$  方向：谷軸方向)と縦断方向( $H_L$  方向：谷軸直角方向)の外に、縦断方向と $45^\circ$  の方向に $10\text{cm/s}^2$  一定の正弦波形加速度で、水平に1 Hzから35Hzまで解析プログラムNASTRAN を用いて加振しモード解析を行った。

なお、盛土の横断方向に軟弱地盤底面が単純に傾斜した(a)の地盤と、薄い極軟弱粘性土層が傾斜した(c)の地盤の解析結果は、文献2),9) に示されている。

表3 材料定数

材 料	盛土, 軟弱地盤 (アクリルマイト系)	基盤 (石膏)
ヤング率 $E(\text{kgf/cm}^2)$	2.99	96360
ポアソン比 $\nu$	0.495	0.3
密度 $\rho(\text{g/cm}^3)$	1.07	2.15

## 4.2 解析結果

### (1) $H_r$ 方向加振

図3をみると、 $H_r$  方向加振時は(1)図の  $H_r$  成分が最も大きい。それと直角方向の  $H_L$  と $V$ (上下方向)成分も生じている。このときは14, 17.5, 22Hz にピーク値が生じ、 $H_r$  成分では測点No.6 以外では14, 22Hzの順に小さい。その3つの振動数は実験値とほぼ等しい。

(1)図の  $H_r$  成分をみると、ピーク値が大きい14 Hzでは法尻では谷中心線上のNo.1 が極めて大きく、谷斜面上のNo.4 がそれより小さく、法尻に沿って不同変位が生じている。盛土天端中心線上でもNo.3 が極めて大きくNo.6 がそれより小さく、この線上でも同様に不同変位が生じている。盛土天端中心線上のNo.3, 6では法尻

のNo.1, 4よりも振動が大きい。なお、No.1 の14Hzのピーク値(約 $280\text{cm/s}^2$ )は実験値(約 $710\text{cm/s}^2$ )の約1/2.5である。22Hzでは法尻のNo.1, 4よりも盛土上のNo.3, 6が大きい。谷中心線上のNo.1, 3よりも谷斜面上のNo.4, 6の地点で大きく振動し、22Hzでは14Hzと違う振動モードとなっている。

次に、加振方向と直角方向の(2)図の  $H_L$  成分をみると、法尻では谷斜面上のNo.4 が比較的大きく振動し、(3)図の  $V$ 成分をみると、同じく法尻のNo.1, 4 (概ね $\text{No.1} > \text{No.4}$ )で小さい振動が生じているだけである。

### (2) $H_L$ 方向加振

図4をみると、 $H_L$  方向加振時には(2)図の  $H_L$  成分が最も大きい。それと直角方向の  $H_r$  と $V$  成分も生

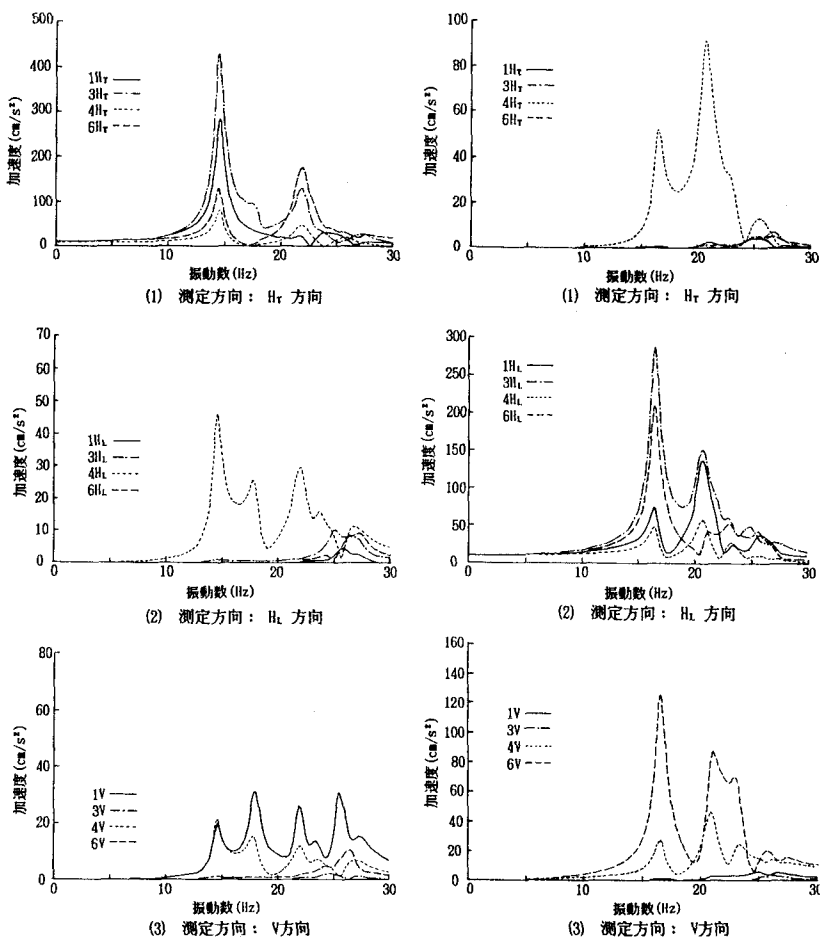


図3 加速度応答曲線( $H_r$  方向加振) 図4 加速度応答曲線( $H_L$  方向加振)

じ、このときは16.5, 21Hzにピーク値があり、 $H_L$ 成分ではNo. 3, 6では16.5, 21Hzの順に小さい。その2つの振動数は実験値とほぼ等しいが、実験では14Hzにも小さなピークが生じている。

(2)図の  $H_L$  成分をみると、ピーク値が大きい16.5Hzでは、法尻では谷中心線上のNo.1 が谷斜面上のNo.4 より大きいがそれほど変わらない。盛土上では谷中心線上のNo.3 が極めて大きく谷斜面上のNo.6 がそれより小さいが、No.3 とNo.6 の違いは図3(1)ほどではない。盛土上のNo.3, 6で法尻のNo.1, 4よりも振動が大きく生じているのは、 $H_r$  方向加振時と同様である。なおNo.1 の16.5Hzのピーク値は実験値の約1/2.1の大きさである。

21Hzでは16.5Hzと違って、谷中心線上のNo.1, 3が谷斜面上のNo.4, 6よりも振動が大きいが、盛土横断方向の振動の違いは小さく、21Hzは16.5Hzと違う振動モードとなっている。

次に、加振方向と直角方向の(1)図の  $H_r$  成分をみると、図3(1)と同様に法尻で谷斜面上のNo.4 が比較的大きく振動し、(3)図のV成分をみると、谷斜面上のNo.4, 6(概ねNo.6 > No.4)で比較的大きい振動が生じているだけである。

### (3) 45° 方向加振

図5をみると、ピークの振動数は図3, 4と同じであるが、ピークの大きさはほぼ1/1.4になっており、図5は  $H_r$ ,  $H_L$  方向に同時に10/1.4 $\approx$ 7.1cm/s<sup>2</sup>で加振したことに相当している。

## 5. あとがき

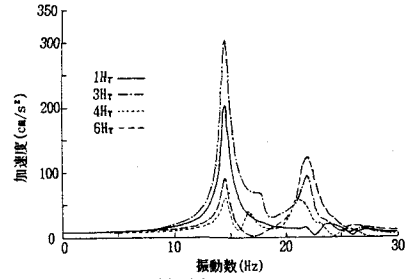
一連の模型振動実験<sup>3)-7)</sup>によって、盛土の下の軟弱層が不等厚状態になっていると不同変位が生じること、軟弱層底面が単純に傾斜した2次元地盤よりも、それが谷状になった3次元地盤の方が振動が大きく増幅すること等が明らかになった。しかも埋没谷で谷底が谷軸方向に水平になっていると、谷軸方向に不同変位が生じないが大きい振動が生じること等が分かった。

埋没谷模型の3次元解析で求められた加速度応答曲線のピークの出現振動数は複数あり、概ね実験値と等しい。しかし、そのピーク値の大きさは実験値の約1/2.1~2.5であり、その原因として解析に用いた変形定数特に減衰定数が実験モデルの値と違っていたこと等が考えられる。また、45° 方向加振時の解析結果は  $H_r$  方向加振時と  $H_L$  方向加振時の結果の重ね合わせである。

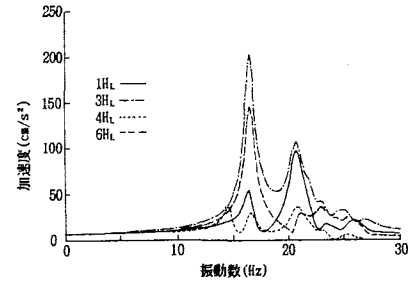
以上の実験と解析で用いた地盤モデルは実際に地震被害例が多くみられるモデルであり、実験と解析で明らかになった地盤挙動が実際に生じていることが考えられるし、このような盛土の地盤で生じた現象は、建物や橋梁等の地盤でも同様に生じているものと考えられる。おわりに、以上の実験と解析を行うに当たって御世話になった応用地質学の今野政志課長と鶴ミコシエの今野治夫氏に厚く御礼を申し上げます。

### 参考文献

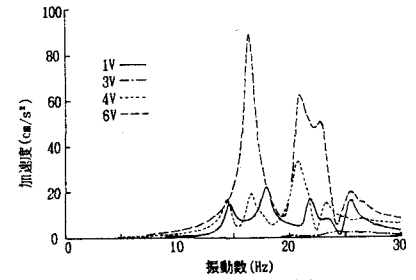
- 1) 那須・羽矢助：地震被害発生箇所の地盤構造，第8回日本地震工学シンポジウム(1990)論文集，pp.43-48, 1990.
- 2) 那須・羽矢助：盛土の動的応答と地盤構造との関係，鉄道総研報告，Vol.2, No.11, pp.56-63, 1988.
- 3) 那須：盛土の地震応答と地盤構造の関係(㊦03)，第21回地震工学研究発表会講演概要，pp.133-136, 1991.
- 4) 那須：盛土の地震応答と地盤構造の関係(㊦04)，第27回土質工学研究発表会，pp.1011-1012, 1992.
- 5) 那須：盛土の地震応答と地盤構造の関係(㊦06)，第28回土質工学研究発表会，pp.1271-1274, 1993.
- 6) 那須助：盛土の地震応答と地盤構造の関係(㊦07)，第28回土質工学研究発表会，pp.1275-1276, 1993.
- 7) 那須助：盛土の地震応答と地盤構造の関係(㊦08)，第28回土質工学研究発表会，pp.1277-1278, 1993.
- 8) 那須・羽矢：地震被害盛土の振動応答と地盤構造の関係，鉄道総研報告，Vol.6, No.4, pp.17-26, 1992.
- 9) 那須・田村：盛土の地震応答と地盤構造の関係(㊦09)，土木学会第48回年次学術講演会Ⅲ，1993(投稿中)。



(1) 測定方向：  $H_r$  方向



(2) 測定方向：  $H_L$  方向



(3) 測定方向： V方向

図5 加速度応答曲線(45° 方向加振)