

盛土と斜面の震害について

鉄道技術研究所

正負

小林芳正

序. この論文では過去の大地震による盛土と斜面の震害例を紹介し、被害の機構について若干の推論を加える。これらの震害を説明するためには、震度として、振動の強さだけでなく、継続時間をも含めた、より全面的なものを考えることが必要と思われる。

1. 震害例

(1) 福井地震: 1948 June 28 M = 7.2

i. 細呂木一牛の谷間高築堤(130 K 400 ~ 131 K 000)の崩壊²⁾

海岸台地間の旧入江の沖積層上の高さ8mの盛土。オ三系綠色凝灰岩基盤上に頁岩-砂岩互層よりなる洪積層が4mあり、その上に固結度の低い沖積砂層が2m堆積している。この築堤は線路延長約400mにわたって高さ4.5~4m位まで沈下した。たてきれつが数本入り、盛土底面の中は元の2倍位に広がっているものが多いが、法面は比較的原型を保っている。両側地盤の盛上りは少く、総体積変化も少い。材料としては附近地山の切取り土砂を利用してあり、粒度分析の結果、砂質ロームとされた(粘土2.5%, シルト32.5%, 砂65.0%)。

ここの推定震度は $u_{max} = 450 \text{ gals}$, $v_{max} = 100 \text{ kines}$, $d_{max} = 25 \sim 30 \text{ cm}$, $T = 1.2 \text{ sec}$, ゆれの回数 15 ~ 40 回である^{1), 2)}。法面の水平移動量は表1のとおりである。ゆれが15回または40回だったとすれば、1回のゆれによる移動量は表2のようだったことになり0.2 ~ 1.0 m程度である。

$$u_m = \frac{V^2}{29N} (1 - N/A) \quad \therefore N = V^2 / (29u_m + V^2/A) \dots \text{Newmark}^{3)}$$

により、1回のゆれによる移動量0.2 ~ 1.0 mに対応する抵抗Nを求めれば表3のようになる。したがってこの被害は、この盛土の抵抗が0.1 ~ 0.16g

であったところに上記程度の強さの振動が40回程度続いたとすれば説明がつく。

ii. 丸岡-金津間低築堤(122 Kおよび126 K附近)のたてきれつ²⁾

福井平野中央部の沖積層上にあり、高さ2m程度と思われる。被害状況は法面附近に1~2本たてきれつが入るもので、被害のいちじるしいものでは法面にもきれつが生じ大きく崩れる。

村松によれば地盤の破壊条件は $\epsilon = \left| \frac{2d}{c} \right| = V/c \geq \epsilon_0$ である⁴⁾。ここに ϵ : ひずみ, d : 振動変位, V : 振動速度, c : 弾性波速度, ϵ_0 : 破壊限界のひずみである。いま $V = 100 \text{ kines}$, $c = 100_s \sim 500_p \text{ m/sec}$ とすれば $\epsilon_0 \leq 2_p \sim 10_s \times 10^{-3}$ となる。ただし ρ はその P 波および S 波に関する量であることを示す。上に仮定した弾性波速度に対応する弾性係数は $2_p \sim 50_s \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 程度だから応力は $2_s \sim 10_p \text{ kg/cm}^2$ となり、せん断破壊でも引張り破壊でも考えられる。

表 1

地長 \ Σu	左	右
130 K 620	11.6 ^m	1.6 ^m
680	6.8	7.2
740	16.0	6.8
760	12.8	8.0
800	12.8	5.6
860	8.4	9.6
Σu_{max}	16.0	9.6
Σu_{mean}	12.3	7.4

表 2

ゆれ	\bar{u}	左	右
15回	\bar{u}_{max}	1.0 ^m	0.64
	\bar{u}_{mean}	0.82	0.49
40回	\bar{u}_{max}	0.40	0.24
	\bar{u}_{mean}	0.31	0.19

表 3

u_m	N
0.2 ^m	0.16 ^g
0.4	0.091
0.6	0.070
0.8	0.055
1.0	0.045

一方、物部の方法を少し modify すれば、依築堤の法筋にたてきれつが生ずる限界は $\alpha \geq \frac{2}{PH^2} (2CH + \tan\phi \times pg \frac{H^2}{2})$ である⁵⁾。ここに α ; 水平加速度, C ; 凝集力, p ; 密度, H ; 築堤の高さとし、法面勾配は 45° とする。 $\phi = 0$ とすれば $\alpha = 0.5g, 0.4g$ に対し $C = 0.1, 0.08 \text{ Kg/cm}^2$, $C = 0$ とすれば $\alpha = 0.5, 0.4g$ に対し $\phi = 27^\circ, 22^\circ$ だったことになる。

(2) 鳥取地震: 1943 Sept. 10 $M = 7.4$

i. 居組一岩見向高築堤 (211 K 150 ~ 240) の崩壊¹²⁾

山に囲まれた田を横切る高さ 15m の高築堤で、山側の田の水をせきとめる状態にあり、暗渠で排水がされていたが、築堤下部は相当水が浸潤していたと思われる。材料は細粒の海砂からなる。地形から基礎も傾斜していたと推定される。延長 150 m にわたり最高 3 m の沈下があり、底面は抜けた。ここで想定される震度は、鳥取市内なみとすれば、 $\alpha = 0.3 \sim 0.4g$, $T = 1 \text{ sec}$ とすれば $v = 50 \sim 60 \text{ lines}$, $d = 10 \text{ cm}$ 程度と思われる。(図 1)

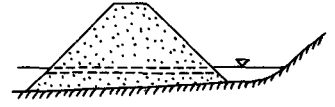


図 1

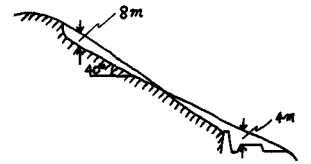


図 2

ii. 塩見一鳥取向 (225 K 590 附近) の土砂崩壊¹²⁾

勾配 40° 以上の柱状節理が発達し、相当深くまで風化のすすんだ母山岩の切り取りで、図 2 のような崩壊が起った。写真によれば崩壊した岩塊は至 $10 \sim 20 \text{ cm}$ の碎石状である。凝集力のない砂からなる斜面の安定の限界は $\alpha = \tan(\phi - \theta) \cdot g$ である。ただし ϕ ; 摩擦角, θ ; 勾配である。 $\theta = 40^\circ$ だから $\phi = 45^\circ$ とすれば $\alpha = 0.1g$, $\phi = 55^\circ$ とすれば $\alpha = 0.25g$ だったことになる。

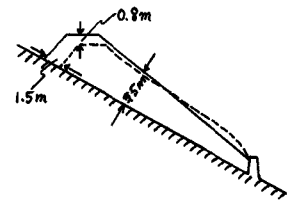


図 3

(3) 南海道地震: 1946 Dec. 21 $M = 8.1$ ^{14) 15)}

i. 周参見一見老津向 (136 K 800) の盛土滑動¹³⁾

海岸に沿って傾斜面上に切り取り、盛土がつづいている区間の盛土の一つが地山に沿って約 1.5 m 滑動し、路盤面が約 0.8 m 沈下した。地山の傾斜は約 30° である。この震度が田辺市と等しく $0.15g$ だったとし、上述の式で ϕ を見積ると $\phi = 34^\circ$ となる。 $T = 0.5 \text{ sec}$ とすれば $v = 12.5 \text{ lines}$ となり Newmark の式によれば 1 回の振動による沈下量は $0.4 \sim 0.5 \text{ m}$ となり、全沈下量 1.5 m は 3 ~ 4 回の振動で起ったことになる。(図 3)

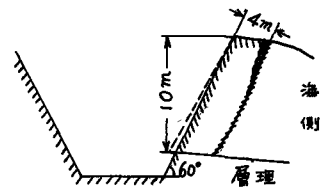


図 4

ii. 江住一和深向 (143 K 300) の切り取り滑動¹³⁾

切り取りの一部の長さ 20 m, 厚さ 4 m, 高さ 10 m の岩塊が水平に 45 cm 程押し出された。地層は泥岩からなり層理は不明瞭だが水平に近く、わずかに海側に傾斜し、垂直に近い節理をもつ。(図 4)

(4) 今市地震: 1949 Dec. 26 $M = 6.7$ ^{16) 17)}

今市町の 3.4 km^2 にわたる地域の地表から $6 \sim 7 \text{ m}$ の地層が東方へ $6 \sim 7 \text{ cm}$ 進った。この地域の平均傾斜は約 1° であり、沈下面には白色粘土層が介在する。この白色粘土層の一軸圧縮強度は岡本・久保

によれば $0.33 \sim 0.54 \text{ kg/cm}^2$ である。震度は $\mu = 60 \text{ lines}$, $\alpha = 950 \text{ gals}$, $T = 0.4 \text{ sec}$ 程度のものが 10 秒位すなわち 25 回位つづいたと考えられる。この場合 1 回のゆれによる迂りは約 0.24 cm となり、これに対応する Newmark の N は 0.84 となる。したがって $cS + M_g \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi - M_g \sin \alpha \div MNg$ が成り立つ。これは kg/cm^2 で表わせば $c + 1.2 \tan \phi = 1.0$ となる。上述の一軸圧縮強度を 0.5 kg/cm^2 で代表させれば両者からこの地迂りは粘土層が $c \div 0.14 \text{ kg/cm}^2$, $\phi \div 36^\circ$ であったとすれば説明がつく。(図5)

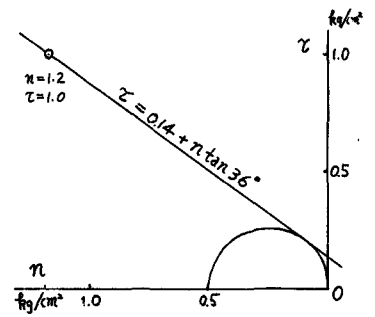


図 5

2. 考察

(1) 盛土と斜面の震害の型

盛土の震害の型は i. 高築堤の崩壊沈下, ii. 低築堤のたてきれつ, iii. 基盤に沿う滑動にわけられる。福井地震の際の細呂木高築堤の崩壊は i 型の典型と考えられ、円形すべり面を仮定するなど尚題のモデル化が可能と思われる。ii. は福井地震の際の低築堤の被害などがそれに当り、i とはかたなり機構を異にするものと思われる。iii の例には鳥取地震の居組-岩美向および南海道地震の周参見-見花津向の被害がある。ただし居組-岩見向の被害は i の様相も呈しており、典型的なのは後者の方であろう。築堤の震害の型としてこのほかに陥没を別にとりあげる必要があるかもしれない。

斜面の震害の型は i. 碎屑物、凡化岩の崩壊, ii. 岩塊のブロック状滑動, iii. 地迂りにわけられる。i の例は鳥取地震における塩見-鳥取向の崩壊である。ii は岩盤の層理、節理等からブロックが分離されるもので南海道地震の江佐-和深向の被害がこれに当る。iii の例には今市地震における大規模な地迂りがある。

(2) 盛土と斜面の震害の要因

震害の要因として重要なものは i. 震度, ii. 静的な不安定, iii. 材料の動的性質であると考えられる。震度は従来から重視されているが、最大加速度のみならず、最大速度およびそれらの継続時間も重視しなくてはならない。福井地震の細呂木の例、南海道地震の周参見の例、今市地震の地迂り等はこのことを示していると思われる。また盛土や斜面の震害には地震力だけでなく、それらが本来もっている静的な不安定がきわめて大きな役割をなしている点が注意される。この意味では大地震でなくても大きな被害が生ずる可能性もある一方、常時の観察から地震危険度を推定できる可能性もある。特に福井地震、鳥取地震における高築堤の崩壊では地震時に材料強度が相当低下したと推測される。特に後者においては田の湛水のため盛土下部に相当水が浸透しており、土の動的性質に大きな影響を与えたものと思われる。

(3) 震度と振動の回数

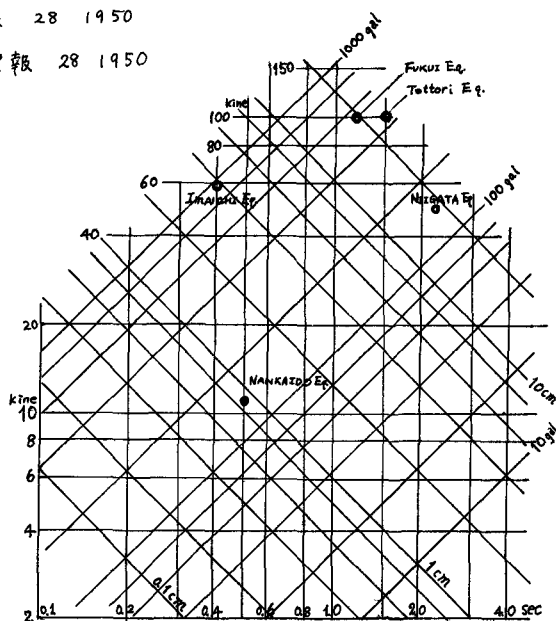
激震地域の地震動の記録は従来余り多くとられておらず正確なことは不明であるが、福井地震、鳥取地震、南海道地震、今市地震の際の激震地域の震度を周辺地域の地震記録および被害から推定すると表4のようになる。盛土や斜面の震害のある種のものに対しては、地震動の諸要素のうち振動速度および主要動の回数が重要な要素であるらしいことは注意に値する。(図6)

3. 参考文献

- 1) Kawasumi H. : The Fukui Earthquake of June 28, 1948-General Description Committee 1950
- 2) 鈴木他7名 : 昭和23年6月23日福井地震調査報告 鉄道技術研究所才2部 昭23.9
- 3) Newmark N.M. : Effects of Earthquakes on Dams and Embankments Géotech. 15-2 1965
- 4) 村松郁栄 : 松代地震才2回調査報告書 1966 11. 日本科学者会議
- 5) 物部長穂 : 耐震学 昭27.9 理工図書
- 6) 気象庁 : 日本における大地震の記録 震害時報 才22巻別冊
- 7) 松沢武雄 : 鳥取大地震の時の狛犬の運動 震研彙報 22-1 1944
- 8) 松沢武雄 : 地震による鳥居の損害 震研彙報 22-2~4 1944
- 9) 岸上冬彦 : 昭和18年9月10日鳥取地震の被害 震研彙報 23 1945
- 10) 村松郁栄 : 地震動の周期特性を考慮した地震危険度の算定方法について 岐阜大学志報 3-1 1962
- 11) 水上武 : 微動計による鳥取余震の観測(概報)特に地盤の固有振動 震研彙報 22-1 1944
- 12) 内山他3名 : 鳥取地方震害調査報告 鉄道技術研究所才2部 昭18.9
- 13) 斎藤他4名 : 昭和21年12月21日南海地震による紀勢西線被害調査報告 鉄道技術研究所才2部 昭22.1
- 14) 金井清 : 南海大地震災害報告 土木学会誌 32-1 昭22.8
- 15) Ikegami R., Kishinoue F. : A Study on the Overturning of Rectangular Columns in the Case of the Nankai Earthquakes on December 21 1946 震研彙報 25 1947
- 16) 岡本舜三, 久保慶三郎 : 昭和24年12月26日今市地震による土木施設の被害について 土木学会論文集
- 17) Ikegami R., Kishinoue F. : The acceleration of Earthquake Motion Deduced from overturning of the Gravestones in Case of the Inachi Earthquake on Dec 26 1949 震研彙報 28 1950
- 18) 地震研究所 : 今市地震余震観測報告 震研彙報 28 1950
- 19) 荻原尊礼, 笠原慶一 : 今市地震の余震 震研彙報 28 1950

表 4

地震	場所	加速度	速度	変位	周期	主要振動回数
福井	金津	450 $\frac{gal}{s}$	100 $\frac{cm}{s}$	20 cm	1.2 sec	20~40
鳥取	浜村	400	100	25	1.5	
南海道	田辺	150	12.5	0.9	0.5	4~
今市	今市	950	60	4.0	0.4	25~



四 6