

I-519 常時微動を用いた地盤の液状化予測

(財)鉄道総合技術研究所 正員 中村 豊
(財)鉄道総合技術研究所 正員 滝沢太郎

1. はじめに

地震時の地盤破壊は地震対策上重要な問題である。1989年10月カルフォルニア州北部で発生したロマブリエタ地震でも数多くの地盤破壊が発生した。的確で簡便な地盤の評価手法の開発が望まれるところである。

我々は常時微動を使って表層地盤や構造物の地震応答特性を簡便に推定する手法を開発¹⁾し、首都圏のJR線を対象に約100m間隔で調査を行っている。中村は東工大の大町教授らとともに同じ方法を使ってロマブリエタ地震の被災地を調査した。また、これに関連して東京湾の埋立地でも調査を行った。ここでは、これらのデータを用いて液状化予測を中心とした地盤の評価手法を検討したので報告する。

2. 基本的な考え方

地盤の変形を表わす物理量として、地盤のせん断歪がある。ここでは、地震時に発生する表層地盤のせん断歪を推定し、これを指標として表層地盤の地震耐力を評価する。

地盤としてはいわゆる基盤の上に軟らかい表層地盤がのっている2層構造を想定する。また、軟弱な表層地盤の平均的なせん断歪 γ を基盤と地表面の相対変位を表層厚 H で除したもので近似する。

$$\gamma = A_p \cdot d / H, \quad A_p: \text{増幅倍率}, d: \text{基盤での地震動変位振幅}$$

ここでは、簡単のため、当該表層地盤の固有振動数 F_p に一致する卓越振動数成分を持つ地震が発生したときのせん断歪を推定する。

常時微動で推定される A_p は、基盤地震動に対する地表面での地震動の倍率であるから、次式で近似できる。

$$A_p = V_B / V_s,$$

$$\text{また、} F_p = V_s / (4H), \therefore H = V_s / (4F_p) = V_B / (4A_p \cdot F_p)$$

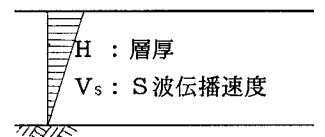
$$\text{さらに、} d = a / (2\pi F_p)^2, \quad a: \text{基盤加速度}$$

$$\begin{aligned} \therefore \gamma &= A_p \cdot a / (2\pi F_p)^2 \cdot (4A_p \cdot F_p) / V_B \\ &= (A_p^2 / F_p) / (\pi^2 V_B) \cdot a \\ &= C \cdot a \cdot K \end{aligned}$$

$$\text{ここに、} K = A_p^2 / F_p, \quad C = 1 / (\pi^2 V_B)$$

C は比較的広い地域でほぼ一定の値に設定できる。加速度 a は検討の対象とする想定地震動の大きさであり、適宜設定される。 K 値は、地表面における常時微動測定から推定し得る量で各地点固有のものであるが、これに $C \cdot a$ を乗じることにより地震時の発生歪と関係づけられ、地盤変状と関係づけられる。したがって、 K 値を表層地盤の評価指標として使うことが出来る。

$A_p \cdot d$: 地表面地震動変位



d : 基盤地震動変位

V_B : 基盤S波伝播速度

図1 表層地盤のモデル

3. 液状化判定指標 K

1989年10月のロマブリエタ地震では液状化が多発したが、中村は大町・年縄(東工大)とともに地震後直ちに被災地での常時微動測定を実施した²⁾。図2はこのデータを用いて K 値を算出し、液状化などの地盤変状の程度と対応させたものである。これによると、 K 値は被害程度とよく対応することがわかる。概ね $K > 20$ でなんらかの地盤変状が発生しており、 $K > 40$ のところでは、液状化の痕跡も認められるようになる。

図3はマリーナ地区での調査結果から推定した K 値を海岸線から丘の上までの測点位置に対応させて示したものである。いわゆる被害地区内では $K > 20$ となっており液状化や亀裂が発生しているが、山の手の測点では $K < 6$ でありなんらの被害も生じていなかった。

強震観測結果によれば、調査したサンフランシスコ市周辺の基盤最大加速度はおよそ50Galと推定される。基盤でのS波伝播速度を1000~500m/sと仮定すれば、地震時の発生せん断歪 γ は $\gamma = (0.5 \sim 1) \cdot 10^{-4} \cdot K$ となる。したがって、サンフランシスコ市周辺地盤の場合、なんらかの地盤変状の発生に対応するせん断歪は $\gamma \geq (1 \sim 2) \cdot 10^{-3}$ であり、液状化などの地盤破壊に対応するのは $\gamma \geq (2 \sim 4) \cdot 10^{-3}$ と考えられる。

石原³⁾によれば、土は 10^{-4} 以下の歪では弾性の特性を示し変状は現れない。しかし、 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ の歪範囲では弾塑性の特性を示して亀裂・不等沈下が生じ、 10^{-2} 以上の歪では破壊してすべりや液状化が生じる。サンフランシスコ市周辺の地盤の場合も概ねこれにあてはまる。

図4は、大井埠頭周辺での常時微動測定によるK値を大森駅周辺から大井埠頭まで並べて示したものである。これによると、自然地盤より埋立地盤で大きなK値になっていること、岸壁近くでは $K > 20$ となっていることなどがわかる。K値と地盤歪、基盤S波速度と基盤最大加速度を介して結ばれており、対象とする地震毎にK値のもつ意味は異なる。日本の場合、基盤速度 $V_B = 600\text{m/s}$ としても大きな間違いはなかろう。対象とする基盤地震動を200Galとすれば、 $C \cdot a \div 3 \cdot 10^{-4}$ となるから、K値が10程度以上のところで液状化などの地盤破壊が生じるものと考えられる。

4. おわりに

ここでは、地震時に発生する地盤歪と結びつく地盤の判定指標K値を提案した。K値の判定基準は実際の震害地点での調査を積み重ねなければならない。今後こうした調査を継続して、K値による判定法の妥当性を検証していく所存である。

謝辞：常時微動測定にあたっては、多くの方々のお世話になりました。記して謝意を表します。

参考文献：1) 中村「常時微動に基づく表層地盤の地震動特性の推定」鉄道総研報告Vol.2, No.4, '88.4.

2) 中村・大町・年縄「サンフランシスコ市内他における常時微動測定」土木学会77マリアナ地震報告会, '89.11.

3) 石原「土質動力学の基礎」鹿島出版会P.2, '78.1.

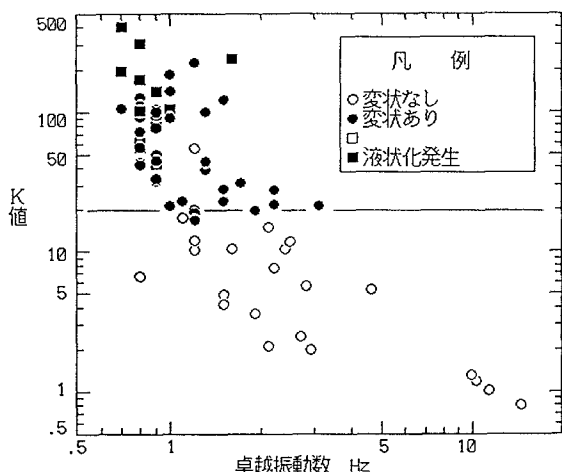


図2 サンフランシスコ周辺の常時微動によるK値

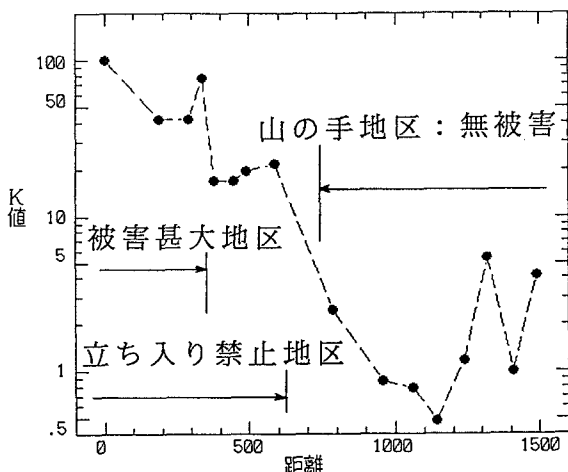


図3 SFマリーナ地区の常時微動によるK値

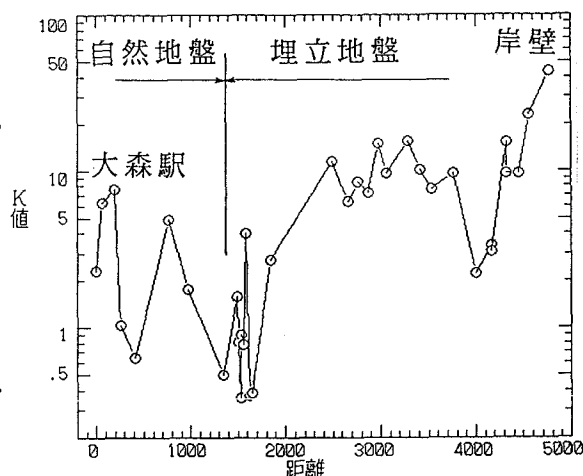


図4 東京湾大井埠頭周辺の常時微動によるK値