

Ⅲ - A74

砂質土盛土の地震による残留沈下予測

複合技術研究所	正会員	堀井克己
鉄道総合技術研究所	正会員	館山 勝
同 上	正会員	小島謙一
東京大学生産技術研究所	正会員	古閑潤一

1. はじめに

阪神大震災を契機に、大規模地震動によってひきおこされる盛土の永久変形量の推定と対策が必要になっている。筆者らは、円弧すべり法による安定計算や、Newmark 法を用いた滑動変位予測、盛土防護工による耐震性効果の検討を実施している^{1,2,3)}。しかしながら、これらの解析には、地震動の繰返し載荷に伴う盛土の劣化特性が考慮されていない。そこで、鉄道盛土から土試料を採取して繰返し三軸試験を実施し⁴⁾、その結果から累積歪特性を定式化し、盛土の沈下量を推定した。沈下量の推定方法は、盛土が均質で盛土内で地震応答が一定と仮定し、盛土内に発生する動的せん断応力を算定し、盛土中心部の残留沈下量を求める簡便な方法である。

2. 累積歪特性の実験式

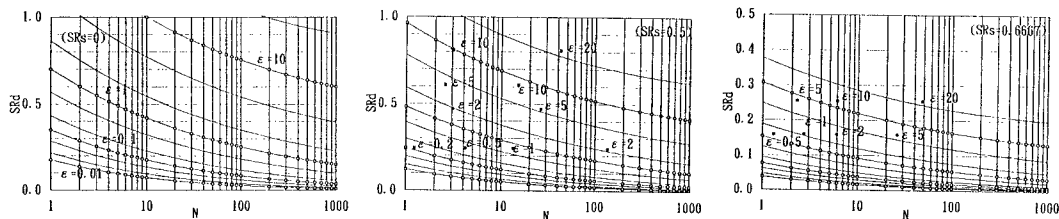
盛土材の累積歪特性、すなわち、動的せん断応力比～初期せん断応力比～繰返し回数～歪の関係を式で表すことができれば、各種の解析に便利である。実験式の定式化過程の詳細は省くが、動的せん断応力比と歪の関係は、式(1)で近似的に表わすことができる。各係数は式(2),(3)で与えられる。

$$SR_d = B\varepsilon^A \quad (1) \quad A = 0.3N^{0.1} \quad (2) \quad B = \beta(1 - 2.86SR_s^{3.2})N^{-0.222}, \beta = 0.7 \quad (3)$$

ただし、 $SR_s = \tau_s / \sigma_{m,i} = \sigma_s / 2\sigma_{m,i}$, $SR_d = \tau_d / \sigma_{m,i} = \sigma_d / 2\sigma_{m,i}$, $\sigma_{m,i} = (\sigma_{x,i} + \sigma_{y,i}) / 2$

ここに、 SR_s : 初期せん断応力比, SR_d : 動的せん断応力比, ε : 累積歪(%), N : 繰返し回数, σ_s : 初期軸差応力, σ_d : 繰返し応力振幅, σ_m : 平均主応力, 添え字の i : 初期状態, d : 動的状態。

$SR_d \sim N$ 関係の近似曲線を ε 別に求めた結果を図-1 に示す。同図には実測値もプロットしており、実験式は累積歪特性をよく近似していることがわかる。なお、 B の値が非負の条件より、 SR_s の上限を求めると 0.72 となり、これに対応する ϕ の値は 46 度になる。この値は、歪が無限大になる ϕ であり、静的三軸試験 (CD 条件) のせん断抵抗角約 30 度の約 1.5 倍になっている。

図-1 $SR_d \sim N \sim \varepsilon$ 関係

3. 残留沈下量の推定法

盛土が均質で盛土内で地震応答が一定とし、盛土天端からの深さ z における鉛直応力 σ_v 、水平応力 σ_L 、地震時せん断応力 τ_d は次式で与えられるものとする (図-2)。

$$\sigma_v = \frac{\gamma z(B + nz)}{B + 2nz} \quad (4) \quad \sigma_L = K_L \sigma_v = K_L \frac{\gamma z(B + nz)}{B + 2nz} \quad (5) \quad \tau_d = \frac{\alpha \gamma z(B + nz)}{g B + 2nz} \quad (6)$$

ここに、 γ : 盛土の単重, B : 盛土天端幅, n : 盛土勾配, α : 加速度, g : 重力加速度, K_L : 側圧係数。
上の諸式を用いて、 SR_s および SR_d を計算すると、

キーワード: 盛土、累積歪、地震時残留沈下量

〒107 東京都港区赤坂 6-13-7 TEL03-3582-3373 FAX03-3582-3509

$$SR_s = \tau_s / \sigma_m = (1 - K_L) / (1 + K_L) \quad (7) \quad SR_d = \tau_d / \sigma_m = 2(\alpha/g) / (1 + K_L) \quad (8)$$

例えば、 $K_L=0.5$ を仮定すると、 $SR_s = 0.333$ 、 $SR_d = 1.333\alpha/g$ となる。以上の仮定のもとでは、盛土形状によらず SR_s は一定値になり、 SR_d は水平震度に比例する。盛土に作用する地震力が与えられると、式(8)の関係から SR_d が計算され、式(1)より累積歪を算定することができる。

地震動の不規則波形に対する累積歪の算定法は、山田らの方法⁵⁾を適用した。計算手順を次に示す。① SR_s および SR_d の系列が与えられる。 SR_d の系列データは、 SR_d の時刻歴図からゼロクロッシングする時刻をもとめて、その間の最大値を拾い、半波ごとのデータとする。② $n=1$ （半波の個数）： SR_s 、 $SR_d(1)$ 、 $N=0.5$ を与えて $\varepsilon(1)$ を算定する。③ $n=n+1$ （半波数に1半波を加える）： SR_s 、 $SR_d(n)$ 、 $\varepsilon(n-1)$ から N を算定これを N_0 （半波前の累積歪に対応する当該半波回数の初期値）とする。そして、 $N=N_0+0.5$ とする。次に、 SR_s 、 $SR_d(n)$ 、 N を与えて n 半波で発生する $\varepsilon(n)$ を求める。この③の手順を終わりまで繰り返す。残留沈下量は、三軸試験下の累積体積歪（ $\varepsilon_v = \varepsilon_1 + 2\varepsilon_3$ ）が盛土中心部でも同等に発生すると仮定して $\delta = \varepsilon_v H = (1-2\nu)\varepsilon_1 H$ より求めた。ここに、 H ：盛土高、 ν ：ポアソン比である。

事例計算は、兵庫県南部地震で観測されたJMA 神戸波形のNS成分の振幅を変化させて行った。図-3に、 $\alpha_{max}=818\text{gal}$ のときの繰返し回数（半波数）に対する累積歪の変化を示す。盛土高7mの場合の沈下量は約18cmとなり、Newmark法による滑動変位量²⁾の約30%になっている。ただし、残留沈下量の計算にはポアソン比0.3を用いた。最大加速度の大きさを変えて残留沈下量を求めた結果を図-4に示す。最大加速度が大きくなるとともに、残留沈下量の増加率が大きくなる傾向が見られる。ここで、本計算による変形は一般的な沈下を想定しているが、Newmark法では剛体的なすべりによる段差沈下を呈することに留意する必要がある。実際は両者が組み合わさった変形になり、その発現の比率は盛土条件や土質により変化するものと考えられ、今後の課題である。

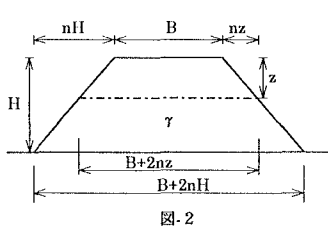


図-2

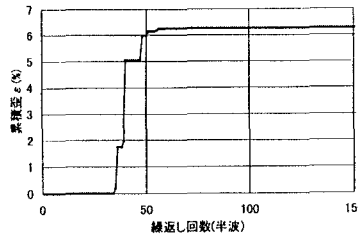


図-3 累積歪と繰返し回数の関係

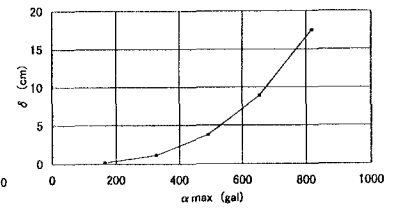


図-4 残留沈下量と最大加速度の関係

4. おわりに

砂質土盛土材の累積歪特性を定式化し、盛土の劣化に起因する残留沈下量を推定した。計算に用いた累積歪特性は、低い拘束圧下で行った繰返し三軸試験結果を解析に便利なように関数近似したものであり、初期せん断応力の影響が考慮されている。今回提案する残留沈下量の推定方法は、盛土内での増幅も考慮することができる。今後、模型振動実験の挙動などとの比較を通して、本推定法の妥当性を検討する予定である。

<謝辞> 本研究を実施するに当たって、ご指導を頂いた東京大学龍岡教授に深く謝意を表します。また、図の作成に協力して頂いた中央開発㈱の西原課長に厚くお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 館山・筑摩・堀井・古関・龍岡：円弧すべり法による鉄道盛土の地震時安定計算，第32回地盤工学研究発表会，1997。
- 2) 堀井・館山・内田・古関・龍岡：ニューマーク法による鉄道盛土の地震時滑動変位予測，第32回地盤工学研究発表会，1997。
- 3) 小久保・館山・堀井・古関・龍岡：ニューマーク法による鉄道盛土防護工の地震時変形性評価，第32回地盤工学研究発表会，1997。
- 4) 平野・蔭・館山・筑摩・龍岡：鉄道盛土の動的変形特性・累積歪特性，土木学会第52回年次学術講演会，1997。
- 5) 山田・真鍋・龍岡：大型橋梁基礎の地震時変位の予測，第25回土質工学研究発表会，1990。