

大規模地震における道路盛土の残留変形量に関する一考察

日本道路公団試験研究所 正会員 加藤喜則 正会員 北村 佳則
日本工営 正会員 李 黎明 正会員 田中 弘

1. はじめに 現在 JH では大規模地震(レベル 2 地震動)における道路盛土の残留変位量の簡便な予測手法として、ニューマーク法の適用を検討している。これまで、ニューマーク法の適用性を確認する目的で、動的遠心模型実験による道路盛土の地震時変形挙動の再現¹⁾および実験結果に基づく地震時残留変形量予測手法の評価²⁾について報告した。その結果、大規模地震時においても密実に施工された盛土は、ある程度の変形は起こっても崩壊には至らなく、靱性的な挙動を示すこと、残留変形量は、入力地震波の周波数特性、主要地震動の繰返し回数及び盛土の初期せん断剛性などのパラメータに強く依存することが明らかになった。また、ニューマーク法の適用性に関しては、実用的な盛土耐震照査手法であることは確認されたものの、従来指摘されている通り、適用するうえで、すべり面の簡便かつ合理的な設定法の構築が重要な課題であることが再認識された。そこで、本報では、動的遠心模型実験から得た盛土の地震時における変形挙動に主眼を置き、ニューマーク法の適用に際して、上記課題を検討するためのヒントとなるべく、地震時盛土の残留変形形態および盛土材料物性との関連性について議論するとともに、道路盛土の耐震性能に係わる盛土天端の応答変位について報告する。

2. 動的遠心模型実験概要 実験模型は、2次元平面ひずみ条件とし、高さ 20m、標準のり勾配 1:1.8 を持つ盛土断面を対象実物とし、半断面に対して縮尺 1/50 でモデル化した(図 - 1)。盛土材料は、砂質土を対象とし、模型盛土の密度は JH における現行の盛土の品質管理基準より、 $D_c=90$ 、100%の2種類を設定した。入力地震波形は、盛土の基礎地盤である表層地盤に種と種地盤を想定して、「道示」に示されたタイプ 地表面波形のうち、神戸海洋気象台波形 NS 成分(JKN 波形)とポートアイランド波形 NS 成分(PIN 波形)をそれぞれ種と種表層地盤の代表波形として用いた。最大加速度振幅は加振装置の能力に合わせて 460gal に調整した。代表として、JKN 波形と周波数特性を図 - 2 に示す。実験は、盛土の密度および入力波形(表層地盤の種別)をパラメータとした組み合わせで、計 3 ケースを行った。本報では、主に [$D_c=90\%$ 、種地盤(JKN 波形)] 条件での実験結果を例として記述する。なお、実験に用いた動的遠心載荷装置の仕様と本実験の詳細内容については文献 1), 3)を参照されたい。

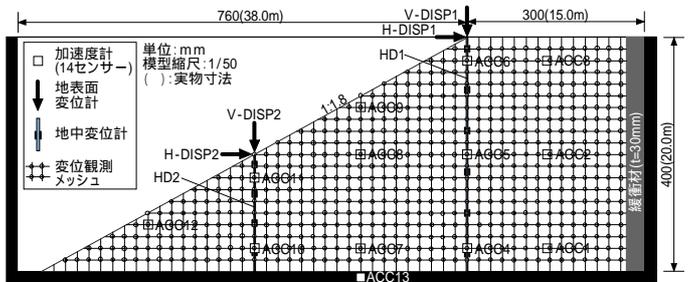


図 - 1 実験模型の概要

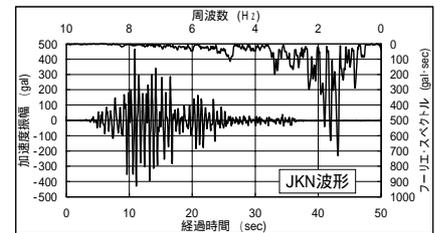


図 - 2 入力地震波

3. 盛土の材料物性 模型盛土材料には、材料物性の再現性を考慮して、乾燥重量比 9:1 の豊浦珪砂:カオリン粘土混合物を最適含水比で加水調整したものを用いた。盛土材料の物性値として、締固め特性は $\rho_{dmax}=1.73 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt}=11.8\%$ であり、 $D_c=90\%$ 時の強度と動的変形特性はそれぞれ、粘着力 $C_d=1.39 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi_d=33.8^\circ$ 、初期せん断剛性 $G_0=167+0.33\sigma'_c \text{ MN/m}^2$ 、減衰率 $h=31.75+0.02 \sigma'_c \%$ である。ここに、 σ'_c は平均有効拘束圧である。図 - 3 に、三軸圧縮(CD)試験から得られた模型盛土材料の応力～ひずみ関係を示す。図から、今回の模型盛土材料は、いずれの拘束圧においても明確なピーク強度を示さず、負のダイレイタンス特性を有し、せん断の進行に従い体積収縮を示す材料であることが分かった。

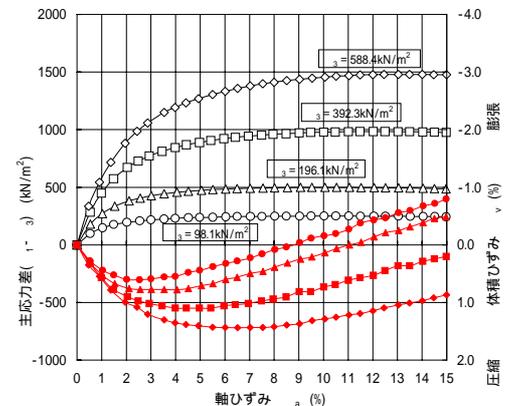


図 - 3 盛土材料の応力～ひずみ関係

キーワード 地震防災, 道路盛土, 斜面安定, 残留変位量, 動的遠心模型実験

連絡先 〒300 - 1259 茨城県つくば市稲荷原 2304 日本工営(株)中央研究所 TEL029 - 871 - 2071

4. 地震時盛土の残留変形形態 図-4は、前述の盛土条件において、最大入力加速度振幅460galのJKN波形による加振後の盛土残留変形を示したものである。同図の(a)~(c)には、加振による盛土の残留変位ベクトル、残留せん断・体積ひずみの分布をそれぞれ示している。図より、地震時盛土の残留変形形態について、以下のことが確認された。

今回の実験条件において、加振による盛土の残留変形は、のり中腹からのり肩付近にかけての表層地盤に集中している。残留変位ベクトルは、のり肩付近が最も大きく、のり勾配よりも急な方向を示しているのに対して、下方へ行くほど小さくなり、のり勾配とほぼ一致した方向を示すようになっている。

加振によるのり面のすべり崩壊は確認されなかったものの、残留せん断ひずみが集中する領域が明確になっており、残留変形の形態は、主にせん断に伴うすべり変形である。せん断ひずみが最も大きく集中する領域はのり表面から深さ3~4mあたりであり、のり中腹からのり肩にかけての表層部は、剛体移動に近い挙動を示している。

加振による残留体積変形は、せん断変形に伴う体積圧縮変形が最も顕著となっており、体積圧縮ひずみの分布はせん断ひずみの分布とほぼ重なっており、盛土材料のダイレイタンス特性(図-3)と整合する変形形態である。盛土天端付近は、引張り変形の影響で、膨張側の体積ひずみを示し、盛土内部の体積ひずみはのり面側に比べて小さい。

上記を総合すると、今回の実験条件において、変形が集中するのり面付近の領域では、せん断変形による水平変位が発生すると同時に、負のダイレイタンスによる体積収縮が発生し、結果的にのり面中腹の水平変位が抑えられた挙動を示した。これは、地震による盛土の残留変形形態が、繰返しせん断変形とそれに伴う体積変形に強く支配されていることを示し、換言すれば、材料特性の相違が地震時盛土の変形形態を大きく左右することを示唆するものである。

5. のり肩の変位応答 図-5に、上記実験条件で加振時におけるのり肩の変位軌跡を示す。図より、のり肩の応答変位は入力地震動に応じて揺れながら残留変形が蓄積して行く挙動が伺え、主要地震動領域での最大揺れ幅が約400mmであり、道路盛土の性能に係わる残留変形量とは異なるが、盛土天端の応答特性として、着目すべき挙動の1つであると言える。

6. まとめと今後の課題 大規模地震における道路盛土の耐震照査に関する動的遠心模型実験の結果から、地震時盛土の残留変形形態は、せん断特性及びそれともなうダイレイタンス特性より強く支配されることが明らかになった。材料特性の相違による盛土残留変形形態の変化の確認と耐震照査手法への反映が今後の課題である。

参考文献

- 1)加藤・緒方・李・田中・下村・佐久間:大規模地震における道路盛土の残留変形量に関する検討(その1動的遠心載荷模型実験による盛土地震時変形挙動の再現),第38回地盤工学年次講演会概要集,2003.7(投稿中)。
 2)加藤・北村・浜崎・佐久間・李・杉山:大規模地震における道路盛土の残留変形量に関する検討(その2地震時盛土残留変形量予測手法の考察),第38回地盤工学年次講演会概要集,2003.7(投稿中)。
 3)田中・李:地中構造物変化部の耐震性に関する動的遠心模型実験,土木技術資料,Vol.45, No.1, pp.46-49, 2003.1.

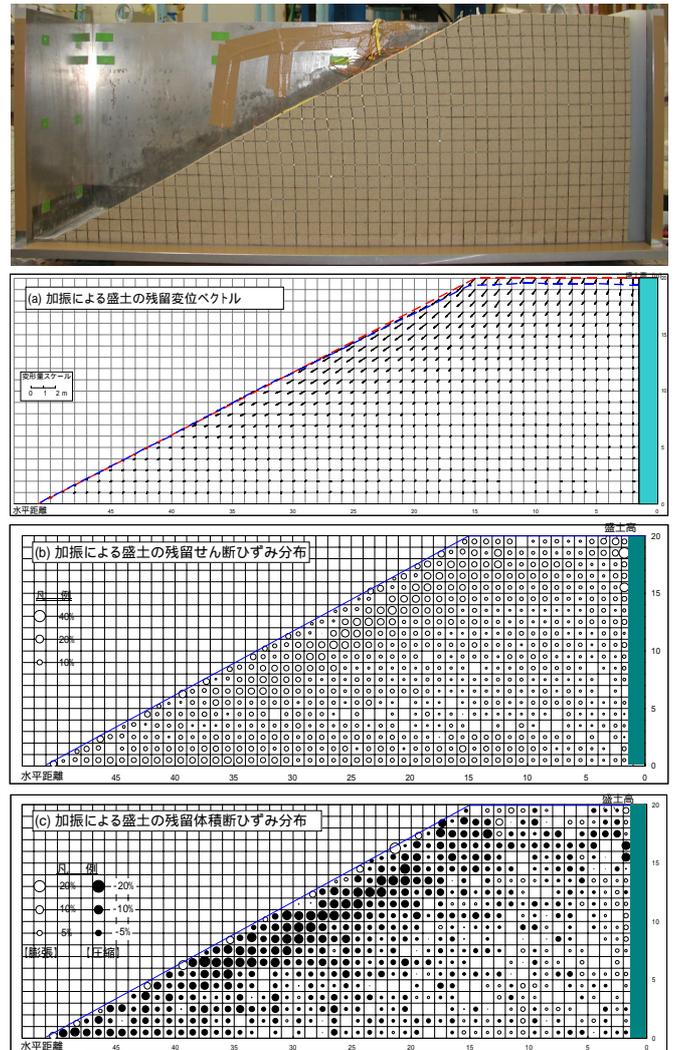


図-4 加振による盛土の残留変形

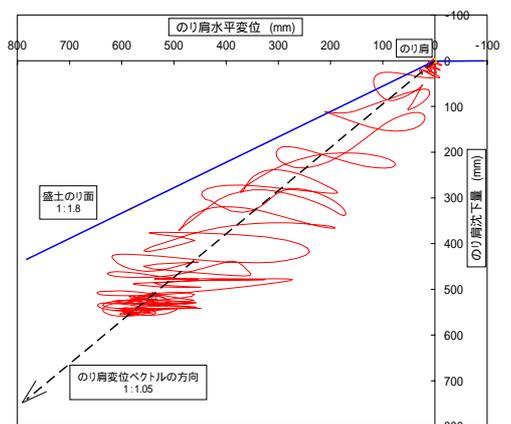


図-5 加振時におけるのり肩の変位軌跡