滑り破壊前の損傷過程を考慮した盛土の地震時性能照査手法

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 〇小島謙一、土井逹也、井澤 淳

1. はじめに

鉄道盛土の耐震設計では、円弧滑り破壊を前提としたニューマーク法を用いて算出する滑動変位量を照査指 標とし、復旧の難易度から設定される復旧性の限界値以内に収めるように性能照査を実施している ^{1),2)}。しか しながら、この手法では実際の盛土の損傷形態を必ずしも正確に再現出来ておらず、適切な耐震性能評価を実 施することが困難な場合がある^{例えば3)}。一方、鉄道橋りょう等の耐震設計では、構造物全体系の損傷レベルを 部材の損傷レベルで規定し、部材の変形を照査指標として安全性や復旧性の照査を実施しており、実際の被害 を合理的に説明可能な手法となっている。本稿では、橋りょう等の耐震設計と同様の手順で盛土の実際の被害 を説明可能な照査手法を提案する。

2. 盛土の破壊形態と損傷過程

筆者らは遠心振動台実験を実施し、標準的な勾配(1:1.5)の盛土と急勾配(1:0.5)の盛土の地震時の損傷過 程を観察している4,5。その結果、以下の2点の知見を得ている。

①盛土の破壊形態

数回の地震動を入力して得られた変位量を、地震動の振幅と繰り返し回数を考慮可能な指標(例えば累積損 失エネルギー⁶⁾ に対してプロットした結果と、PIV 解析から得られたひずみ分布を図1および図2に示す。 標準的な勾配の場合、揺すり込み沈下による体積圧縮により徐々に硬化し、過大な地震入力に対してもひずみ の局所化や変位の急増を示さなかった。一方、急勾配盛土の場合も揺すり込み沈下による硬化を示すものの、

法尻付近でのひずみの局所化 に伴う変位の急増を示し、最№ 終的に滑り破壊に至った。これ のように盛土の破壊形態/損べ 傷過程は揺すり込み沈下型と 滑り破壊型の二つに分類でき 瞬 ると考えられる。

②盛土の損傷レベル

10%

6.0%

2.0%

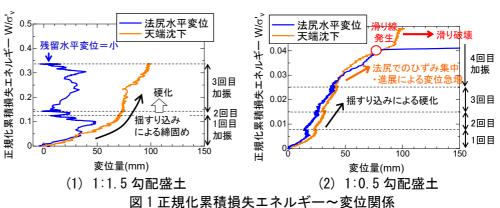
-2.0%

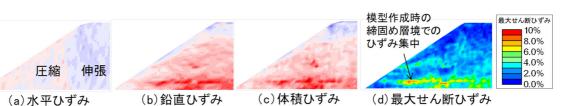
-6.0%

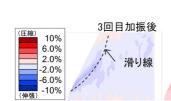
-10%

(圧縮

盛土材の変形特性を用いて 損傷レベルを図3に示すよう







3回目加振後 (b) 鉛直ひずみ

3回目加振後 滑り線 (c)体積ひずみ

(1) 1:1.5 勾配盛土 3回目加振後 骨り線付む の集中 最大值9.6%

4回目加振後 (d) 最大せん断ひずみ

最大せん断ひずみ 10% 8.0% 6.0% 4.0% 2.0% 0.0%

(2) 1:0.5 勾配盛土 図2盛土内部のひずみ分布

キーワード 盛土 耐震設計 遠心模型実験

(a)水平ひずみ

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 地震動力学 TEL042-573-7394

に規定すると、滑り破壊型となる急勾配盛土の場合、法尻付近に発生するせん断ひずみを指標として盛土の損傷状況を説明可能である。例えば、図1(2)より加振3回目終了後の4回目の加振から変位が急増している。加振3回目終了時に発生している法尻の最大せん断ひずみは図2(2)(d)に示すように9.6%であるが、これは図3に示すように盛土材が損傷レベル3に達するせん断ひずみとほぼ同等である。したがって、法尻のせん断ひずみが盛土材の損傷レベル3に達したことでその後に盛土の変位が急増し、損傷レベル4に達して破壊に至ったと考えられる。

3. 地震時の盛土の性能照査手法

2 で示した実験結果をもとに、法尻のせん断ひずみを照査指標とし、盛 土材料の損傷レベルを限界値として設定することで、滑り破壊前の損傷

過程を考慮した性能照査が可能であると考えられる。その手順を以下に示す。

① 要求性能の設定

- ・ 構造体としての安全性:法尻におけるせん断 ひずみを照査指標とし、盛土材のせん断応力 ~せん断ひずみ関係から設計限界値を設定 する。例えば、L2 地震動に対して急激な変 形が発生しない損傷レベル3以内とする。
- ・ 復旧性: 天端沈下量を照査指標として設定する²⁾。また、盛土材の損傷レベルの関係から 復旧の難易度を勘案して適切に設定しても よい。

② 破壊形態の確認

盛土材の非線形性を考慮可能な応答値算定モ

50♦ 弾性域 遷移領域 ひずみ 破壊域 40 30-強度τα 1:0.5勾配盛土 20 3回日加振後の 隆伏点(τ/2) せん断ひずみ 10 (9.6%)σ'_c=50kPa 20 せん断ひずみγ(%)

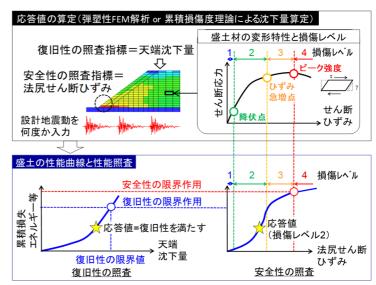
損傷レベル1:E50相当の弾性域

損傷レベル2:損傷レベル1と3の遷移領域 損傷レベル3:ピーク強度に至るまで 直線的な変位増加を示す領域

損傷レベル4:ピーク強度到達後、進行性破壊が

生じる領域

図3 盛土材の損傷レベル



※ 安全性=構造物全体系の破壊に対する安全性

図4 滑り破壊型盛土の地震時の性能照査手法の提案

デルに設計地震動を数回入力し、地震動の振幅と繰り返し回数を考慮可能な指標と変位量の関係を求める。数 回の設計地震動の入力に対しても変位の急増を示さなければ揺すり込み沈下型、揺すり込み沈下による硬化 後に変位の急増を示せば滑り破壊型と確認できる。

③ 応答値の算定および性能照査

滑り破壊型盛土の場合の応答値の算定および性能照査の流れを**図 4** に示す。それぞれの性能項目に応じた設計地震動に対する設計応答値を算定して性能照査を行う。この性能照査法を適用することで、安全性の照査が可能となるだけでなく、復旧性と安全性の限界値の関係の把握、高架橋等と同様に部材(盛土材)の損傷レベルに基づいた性能照査等が可能となる。なお、揺すり込み沈下型盛土の場合は、安全性の照査を省略し、復旧性の照査のみを行えばよい。

4. まとめ

本稿では、遠心振動台実験結果を元に滑り破壊前の損傷状況を考慮した盛土の地震時性能照査手法を提案した。本手法を確立することで、適切な盛土の耐震設計や耐震診断が実施できるようになるだけでなく、地震後の被害調査や原因究明などにも有効に利用できると考えている。本手法の幅広い諸元に対する有効性を検証するための実験を実施すると共に、実務的な応答値算定法の検討も実施していきたい。

参考文献 1) (公財) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物,2007. 2) (公財) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計,2012. 3) 藤原ら:東北地方太平洋沖地震における鉄道盛土の被害要因に関する考察,木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 71, No. 4, pp. I_79-86, 2015. 4)鈴木ら:地震時の滑り破壊前の盛土の損傷レベル評価に関する遠心振動台実験 その 1, 第 55 回地盤工学研究発表会,2020. 5)小島ら:地震時の滑り破壊前の盛土の損傷レベル評価に関する遠心振動台実験 その 2, 第 55 回地盤工学研究発表会,2020. 6)風間ら:地盤に入力された累加損失エネルギーの評価法と液状化予測への適用,土木学会論文集,No. 631/III -48, pp. 161-177, 1999.