

鉄筋挿入式補強による既設盛土の耐震補強に 関する動的遠心模型実験

橋本 聖1・西本 聡2・林 宏親3

¹独立行政法人土木研究所寒地土木研究所(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)
E-mail:qiaoben@ceri.go.jp
²独立行政法人土木研究所寒地土木研究所(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)
E-mail:nishimoto@ceri.go.jp
³独立行政法人土木研究所寒地土木研究所(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)
E-mail:hayashi@ceri.go.jp

兵庫県南部地震以降,レベル2地震動に対する既存盛土への耐震対策が提起されており,盛土の重要度 に応じて耐震補強を行う必要がある.本研究は既設道路盛土の耐震補強対策を目的に,汎用性の高い鉄筋 を既設盛土へ打設することで,レベル2地震動に対して盛土の変形抑止効果が得られるかを動的遠心模型 実験で検証した.その結果,鉄筋をある間隔で法面部および路床下へ配置し,さらに配置した鉄筋の頭部 に支圧板を設置したところ,レベル2地震動に対して盛土の沈下を抑止しただけでなく,盛土天端のクラ ックを低減することが確認された.

Key Words : centrifuge model experiment, Level II Earthquake Motion, seismic strengthening measures, existing embankment, reinforcing bar, bearing pressure plate

1. はじめに

近年,全国的に大規模地震が生じており,最近では新 潟県中越地震による盛土被害が記憶に新しいところであ る.北海道東部では過去10数年に計4回の大規模地震が 発生し,国道盛土の崩壊によって社会生活に深刻な影響 を与えた.特に平成5年に発生した釧路沖地震では,崩 壊した盛土の復旧に最大44日間を要した区間があった

(図-1).崩壊した国道の周囲は迂回路が少なかったことから、国道の復旧費用のみならず社会的な損失も甚大であった.盛土はその性質上、一般的には地震時の検討が行われていないが、北海道東部のように大規模地震が頻繁に起きる可能性が高く、迂回路を確保しにくい地域においては、既設盛土の耐震補強対策を早急に行う必要がある.本研究では、既設盛土への使用が容易でかつ、経済的な盛土の耐震対策として、鉄筋を耐震補強材とした既設盛土のレベル2地震動に対する耐震補強効果を、動的遠心模型実験によって検証した.

2. 大規模地震で崩壊した盛土の特徴

道路震災対策便覧¹⁾では、平地盛土の被災パターンが、 被害形態に応じて決定(表-1)されている.

北海道東部で発生した3つの地震(1993年釧路沖,北 海道東方沖,2003年十勝沖)^{2),3),4)}の盛土の被災履歴か ら,平地上にある盛土の被災パターンはⅡ型破壊が圧倒 的に多く,被災総数の約80%が該当する⁵⁾.

被災パターンⅡ型は、盛土のすべり破壊または亀裂, 段差の発生が道路車線まで及ぶもの、と定義されており、 盛土材料が弱点となって発生したものと考えられている. 図-1は北海道東方沖地震で大規模崩壊した道路盛土で

あるが、この被災パターンもⅡ型破壊に相当する.



図-1 平成6年北海道東方沖地震で被災した国道盛土

表-1 被災パターン分類表 1)

被 災 パターン	被 災 模 式 図	被 害 形 態
I 型		のり面の流出,崩壊またはき れつの段差の発生が道路車線 まで及ばず,のり肩にかぎら れるもの。
Ⅱ 型	min	盛土のすべり崩壊またはきれ つ,段差の発生が道路車線ま で及ぶもの。
Ⅲ 型	Monthing .	破壊が基礎地盤におよぶ盛土 形状が原型をとどめないも の。
IV 型		盛土の一様な沈下に伴って, 盛土形状をある程度保ちつつ 変形したもの。
V 型		構造物背面の盛土が沈下およ びきれつを起こしたもの。

3. 遠心模型実験の目的と方法

盛土への鉄筋補強が地震動に対して、どの程度の変形 抑止効果を得られるか、遠心力載荷装置を用いて動的遠 心載荷実験を実施した.実験ケースの一覧を表-2に示す. 各ケースの盛土材料および形状は同一とし、盛土に鉄筋 補強を行わないケース(ケース1)と,鉄筋を法面と路 床下に挿入して、鉄筋頭部に支圧板を設置したケース (ケース2とケース3)の比較を行った.模型寸法は実物 の1/50縮尺とし、50G(G:重力加速度)の遠心加速度場 において加振実験を行った.



表-2 実験ケース¹⁾

(1)模型地盤

すべての実験ケースにおいて、基礎地盤は比較的良好 な地盤となるよう、乾燥豊浦珪砂を相対密度Dr=90%程 度を目標として空中落下法にて作成した.一方、盛土に 用いた材料は、豊浦珪砂とカオリン粘土を乾燥重量比で 8:2に混合し、水で最適含水比に調整した土である.盛 土材の物性を表-3に示す.盛土の作製は、センサー設置 位置の仕上がり層厚が1cm、その他は2cmを基本として 小型ランマーによる締固めを実施した.盛土形状は標準 的な道路盛土を想定し、重力場に換算するとすべて幅

10m, 盛土高5mである. 盛土幅および高さは土槽の影響 を受けない範囲として決定した. 耐震補強材を鉄筋が模 するため、 ø 1mmのステンレスバネ線(JIS G 4313)を 盛土内に挿入した. ステンレスバネ線のヤング率 (E=1.97×10⁵ N/mm²) は鉄筋とほぼ等価とした. 鉄筋の 周面摩擦効果を発揮させるため、表面を電動ヤスリで研 磨した後, 接着剤で珪砂を付着させた. 支圧板は鉄筋頭 部に2cm×2cm (t=5mm) のアルミプレートに中央部に φ 2mmの穴を加工して作成した.ケース2では、実物換算 でL=2.5m (φ=41mm相当)の鉄筋を,縦方向に1.5m間隔 で下から3段を法面に、最上段を路床筋として、奥行き 方向に2.5m間隔で4列配置した.ケース3では、ケース2 と同様の配置, 配列であるが, 法面の鉄筋長が実物換算 でL=4.0m (ϕ =41mm相当) である. なお, 補強材長や打 設ピッチは切土鉄筋補強の一般的な面積(A=2.0m²)を ベースとしている. また, 補強材等の設置方法について は既往の論文⁹を参考にされたい.計測は基礎地盤およ び盛土内部の応答加速度を超小型の圧電型加速度計で、 盛土天端の沈下をレーザー変位形で行った(図-2).

(2)加振条件

設定した加速度波形は、すべて周波数100Hz(実物換 算2Hz)の正弦波とし、加振時間は0.2秒(同10秒)とし た.ただし、加振装置の性能上、実際に入力された加速 度波形はきれいな正弦波ではない、ケース1~3のすべて に対して入力(設定)加速度を約50m/s²(加振1回目、実 物換算:100gal相当),約100m/s²(加振2回目、実物換 算:200gal相当),約250m/s²(加振3回目、実物換算: 500gal相当)と順次大きくしていくステップ加振を行っ た.ただし、実際の基盤加速度(図-2 A1)は遠心装置 の特性上、入力加速度と同じではない.

項目	値
盛土材	豊浦珪砂:カオリン=8:2
締固め度(%)	85
土粒子の密度(g/cm ³)	2.68
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.87
最適含水比(%)	10.8
粘着力(kN/m ²)	14

表-3 盛土材の諸条件

※強度定数はCD条件の三軸圧縮試験結果

27.5

せん断抵抗角(゜)



-634-

4. 実験結果と考察

(1)盛土および地盤の変形

図-3~図-5は加振した後の盛土の天端状況を表してい る. 盛土に鉄筋補強を行わないケース1では、レベル2地 震動(基盤加速度約200m/s²)の加振によって、盛土天端 中央および盛土法肩において、それぞれ7mm(実物換 算:35cm)の沈下が生じている(図-6,図-7).また、 盛土天端には幅1mm程度、深さ10mm(実物換算: 50cm)程度のクラックが多数発生している.過去の大 規模地震で生じた盛土の天端状況は、盛土の横断方向へ 作用した地震動によって、盛土の縦断方向にクラックが 発生する傾向が多く見受けられたが、本実験においても 同様の破壊モードが再現されている.実際にこのような 亀裂が生じた場合、交通に支障をきたすために、交通の 復旧に少なからず時間を要することが予想される.

一方,ケース2では、盛土の変形を拘束する目的で、 盛土法面および路床下に鉄筋を挿入し、鉄筋頭部には支 圧板を設置している.しかし、レベル2地震動の加振後 では、盛土天端中央にはクラックが発生し、ケース1と 同様の8mm(実物換算:40cm)の沈下が発生している. また、法肩も6mm(実物換算:30cm)の沈下が確認さ れたが、クラックは天端中央部に集中しており、法肩に は発生しなかった.この理由として、路床下に配置した 鉄筋の引張力および鉄筋頭部を支圧板で固定していたこ とによる抑え込みによって、法肩の変形が拘束されたと 推測される(図4).

ケース3はケース2と同様に、盛土法面および路床下に 鉄筋を挿入し、鉄筋頭部には支圧板を設置している. 盛土天端の沈下量ならびに盛土法肩の沈下量は、盛土天 端では5mm(実物換算:25cm),法肩では4mm(実物 換算:20cm)であった.この沈下量はケース1、ケース 2と比較して、沈下量に大差はないと考えられるが、ケ ース1の天端で発生した亀裂は最大で幅1mm程度、深さ 10mm程度であったのに対し、ケース3ではクラックの深 さは5mm程度であった.この理由として、路床下に配置 した鉄筋および鉄筋頭部の支圧板によって、盛土上部の 変形が拘束されたと推測される.特に支圧板が盛土法面 を強く押さえ込んだために、路床筋がケース2と比較し てやや凹型に歪んでいることがわかる(図-5).

このことから,路床下に剛性が高い材料が盛土の変形 拘束に寄与する可能性が高いと想定される.また,法面 部の鉄筋長がケース2と比較して長く,鉄筋による拘束 領域が盛土全体を覆っていることから,盛土内の拘束補 強領域がケース2と比較して大きいと考えられる.



図-3 ケース1加振後の天端状況



図-4 ケース2加振後の天端状況



図-5 ケース3加振後の天端状況



(3)盛土内の応答加速度

ケース1~ケース3の基盤地盤および盛土の応答加速度 を図-8 に示す.加振1回目では、ケース1~ケース3のす べてにおいて、基礎地盤における加速度の増幅は確認さ れていない.盛土内においても盛土高の半分の高さから 天端にかけて若干増幅しているだけである.

加振2回目の基礎地盤の応答加速度は、加速1回目と同 様に増幅が確認されない.しかし、盛土の応答加速度は、 盛土下部から天端にかけて大きく増幅している.盛土天 端の応答加速度は入力加速度の約4倍に達しているが、 これは、鉄筋補強の有無に関わらず、盛土がある一定の 剛性を有していることを表している.

加振3回目の応答加速度では、基礎地盤から盛土高の 半分の高さまではほぼ同様であるが、盛土天端ではケー スによって異なる。ケース2とケース3は加振回数が増加 することによって、応答加速度も増加している。一方、 ケース1は加振2回目から3回目にかけては応答加速度の 増加が小さい。

5. まとめ

既設盛土に鉄筋を耐震補強材とした耐震効果(盛土の 変形拘束効果)は、レベル2地震動に対しても得られる ことがわかった.このような対策は、1本の鉄筋長に限 界があることや施工性を考慮して、基礎地盤が比較的良 好な地盤条件で高さや幅が小さい盛土に対して有効であ ると考えられる.ただし、現段階での耐震効果はあくま でも定性的な評価に留まる.今後はレベル2地震動に対 する鉄筋の耐震補強効果について、変形解析などにより 定量的な評価を行う予定である.また、軟弱地盤上の盛



土における鉄筋補強の耐震補強効果について検討する予 定である.

参考文献

- (社)日本道路協会:道路震災対策便覧(災害復旧編), pp.57~59,2002.
- 北海道開発局開発土木研究所: 1993年釧路沖地震被害調査報告開発土木研究所報告第100号,1993.9.
- 3) 北海道開発局開発土木研究所:1994年北海道東方沖地震被害調査報告開発土木研究所報告第108号,1995.3.
- 4) (独) 北海道開発土木研究所: 2003年十勝沖地震被害調査報告 特集号, 2003.11
- 5) 橋本聖,西本聡,林宏親:大規模地震における盛土の被災 事例と耐震補強盛土の有効性,第50回北海道開発局技術研究 発表会,2007.2
- 6)橋本聖,西本聡,林宏親:鉄筋挿入式による盛土の耐震性向 上効果に関する検討,第12回日本地震工学シンポジウム, pp.718~719,2006.11

(2007.6.28 受付)

DYNAMIC CENTRIFUGE MODEL EXPERIMENTS CONCERNING THE SEISMIC PERFORMANCE OF EMBANKMENTS, USING A REINFORCEING BAR

Hijiri HASHIMOTO, Satoshi NISHIMOTO and Hirochika HAYASHI

In this study, dynamic centrifuge model experiments were carried out to verify the effectiveness of controlling embankment distortion during Level II Earthquake Motion by placing highly versatile reinforcing bars in existing embankments with the aim of ensuring seismic strengthening measures for existing road embankments. As a result, it was confirmed that the installation of reinforcing bars on slopes and beneath the subgrade at specific intervals and placement of bearing pressure plates on the heads of the installed reinforcing bars helped prevent the subsidence of embankments and reduce cracks in the crest of embankments during Level II Earthquake Motion.