

地盤改良や圧密を考慮した既存道路盛土の耐震性評価に関する FEM 解析

道路盛土, 地震応答, FEM

愛媛建設コンサルタント 正会員 ○神野 邦彦  
 愛媛建設コンサルタント 正会員 西本 健一  
 愛媛大学大学院理工学研究科 国際会員 森 伸一郎

1. はじめに

新設の道路盛土では耐震検討が行われることもあるが、既設の道路盛土では耐震設計が行われていない場合が多い。昨今の我が国では、地震活動度が高まり東南海・南海地震の到来も懸念される一方で、地震直後の人員・物資輸送手段としての緊急輸送道路や高速道路の耐震安全性の確保は緊要の課題である。しかしながら、既存の道路延長は膨大であり、簡易なスクリーニング技術や耐震性評価技術が望まれる。また、性能設計の思想が普及しようとしている現在、現実的な挙動を適切に評価することも求められる。一般に、軟弱地盤に道路盛土を建設する場合、地盤改良が行われることも多い。さらに盛土の上載効果により下部地盤が圧密され、剛性の増加が見込まれる。したがって、これらの影響を考慮した既存道路盛土の耐震性評価が望まれる。本研究では、そのような点に着目して道路盛土の地震時挙動について FEM 解析により検討を行い、地盤改良や圧密を考慮した既存道路盛土の耐震性の基本的特性を明らかにする。

2. FEM によるパラメータ解析

図-1 に道路盛土の FEM 解析モデルを示す。モデルは水平成層地盤を仮定し、盛土形状は幅（法尻幅）を 60 m、高さを 9 m、のり面勾配を 1:2 に設定した。表層地盤と堤体下部地盤の層厚は 20 m とし、その下に基盤層 5 m を加えたものを有限要素領域とした。モデル全幅は、盛土幅の 3 倍である 180 m とした。モデルは、盛土堤体(e)、堤体下部(c)、表層地盤(g)および基盤(b)の 4 つの領域に分け、地盤のせん断波速度 ( $V_s$ ) は、各領域で均質と仮定して設定した。

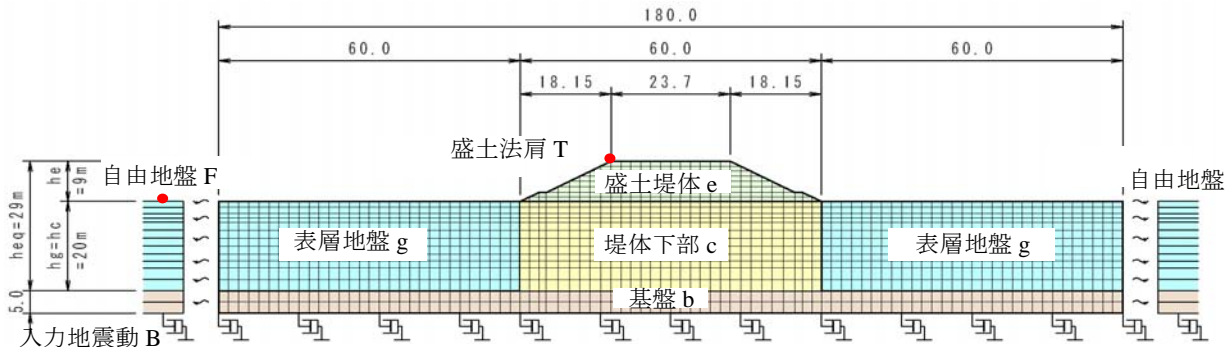


図-1 解析モデル (単位:m)

表-1 解析ケース

表-1 に実施した解析ケースを示す。水平基盤上に一定層厚の均質表層があり、その地盤上に表層と同じ物性の盛土堤体があるという均質表層-堤体系を基本ケースと考え、これを「均質モデル」と呼ぶ。均質モデルは、盛土の基本的な振動特性を検討するのが目的であり、理論値との比較が容易なようにパラメータの比が整数となるように設定した。表層の  $V_{sg}$  を 3 ケース、基盤の  $V_{sb}$  を 3 ケース考え、これらを組み合わせた 9 ケースを検討した。次に、現実的な状況を考慮し、盛土堤体、堤体下部、表層地盤、基盤の 4 つの領域内では均質であるが、領域ごとに  $V_s$  が異なる場合を想定し、これを「域別モデル」と呼ぶ。域別モデルでは、盛土堤体の  $V_s$  を 300 m/s 一定とした。また、表層地盤を 150 m/s と固定する一方、基盤を 300 m/s (砂礫層想定) と 600 m/s (丘陵地軟岩想定) の 2 ケースを考慮した。堤体下部のせん断波速度は、圧密による剛性増加や地盤改良の効果、それらの効果を見逃した場合を想定して、150~600 m/s に設定した。

地震応答解析に用いる入力地震動は、中央防災会議が公開している南海地震の震度評価の際に計算された工学的基盤面における地震動を利用した。地震動の入力基盤面は GL-25 m とした。

解析ケース	盛土堤体 $V_{se}$	堤体下部 $V_{sc}$	表層地盤 $V_{sg}$	基盤 $V_{sb}$
均質モデル	a150A	150	150	150
	a150B	150	150	300
	a150C	150	150	600
	a300A	300	300	300
	a300B	300	300	300
	a300C	300	300	300
	a600A	600	600	600
	a600B	600	600	600
	a600C	600	600	600
域別モデル	c150B	300	150	150
	c180B	300	180	150
	c225B	300	225	150
	c300B	300	300	150
	c450B	300	450	150
	c600B	300	600	150
	c150C	300	150	150
	c180C	300	180	150
	c225C	300	225	150
	c300C	300	300	150
	c450C	300	450	150
	c600C	300	600	150

FEM analysis on seismic response of highway embankment considering effects of reinforcement and consolidation of soils under embankment

Kunihiko Kohno (Ehime Kensetsu Consultants), Kenichi Nishimoto (ditto) and Shinichiro Mori (Ehime University)

3. 解析結果と考察

図-2 に (a) 均質モデルと (b) 域別モデル ( $V_{sg}=150 \text{ m/s}$ ) の自由地盤地表に対する盛土法肩の最大加速度の増幅率を示す。均質モデルでは、相対増幅率が 40 %も増大している  $V_{sb}=600, V_{sg}=300$  の場合を除いて 10~20 %増大している。それに対して、域別モデルでは、 $V_{sc}>V_{sg}$  の場合は  $V_{sg}/V_{sb}=0.25$  で  $V_{sc}=180$  の場合を除き、ほとんどで相対増幅率は 1 を下回っている。特に  $V_{sc}$  が 300 m/s 以上で最大加速度が約 30 %低減している。 $V_{sc}=150$  のケースは、均質モデルに比べて堤体が  $V_{se}=300$  に変わったただけなので、堤体のみ影響を表している。相対増幅率が 1.25 から 1.06 に変化しており、堤体の剛性

増加は盛土内増幅を  $1.06/1.25=0.85$  倍に低減する効果があることがわかる。このことから、1 を下回る相対増幅率は、堤体の剛性増加に加えて、堤体下部地盤の剛性増加が寄与していることが明らかである。

次に、自由地盤地表で地震動が与えられた場合に対応でき

るように、自由地盤地表に対する盛土法肩の相対的な増幅特性を表す伝達関数比について検討する。図-3 に (a) 均質モデル ( $V_{sb}$  が変化) と (b) 域別モデル ( $V_{sb}=300\text{m/s}$ ,  $V_{sc}$  が変化) の相対増幅特性を示す。均質モデルの場合、概ね焦点となる全振動数範囲で増幅率が 1 以上となる。特に、盛土の 1 次、2 次、3 次に対応する部分で増幅し、その増幅率はインピーダンス比に依存し、工学的基盤の  $V_s$  が 300 m/s であれば、ピークで 1.7 倍程度である。このことから、図-2 (a) で示した最大加速度の相対増幅は増幅係数スペクトルの面から理解することができる。一方、盛土堤体のせん断剛性が  $V_{se}=300 \text{ m/s}$  の場合、ピーク高さは小さくなり、堤体剛性増加には振動低減効果があることがわかる。これにより、図-2 (b) で示した最大加速度の低減効果をメカニズムの面から理解することができる。

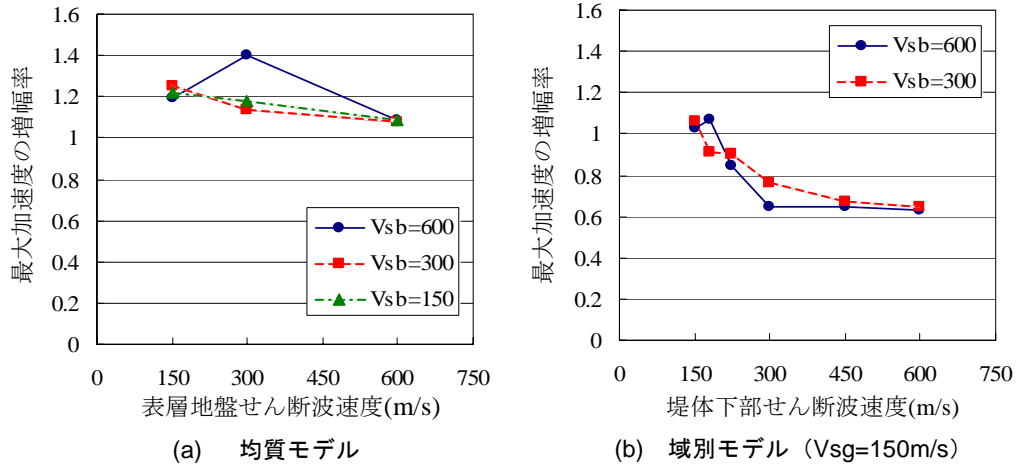


図-2 盛土法肩における最大加速度の増幅率 (T/F)

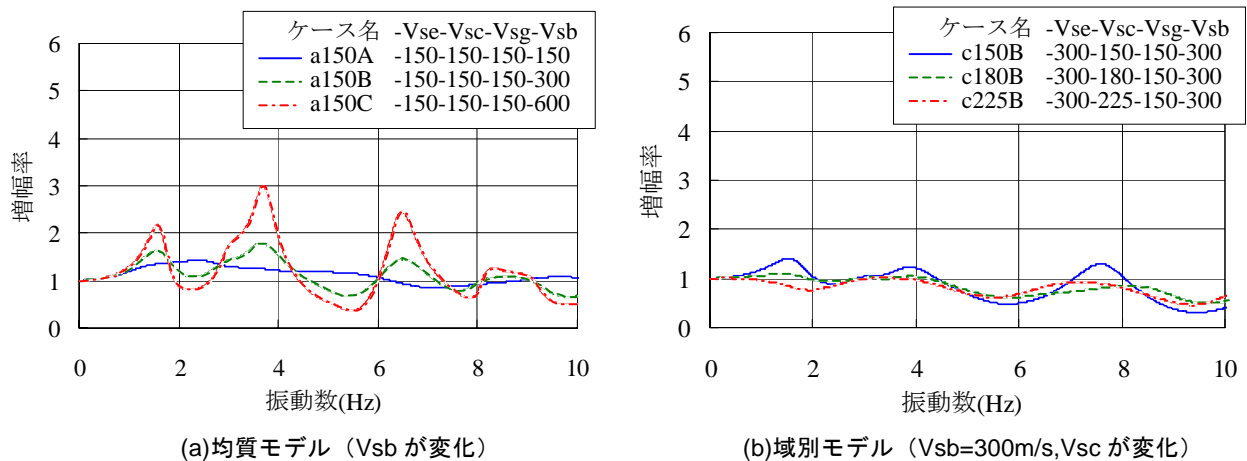


図-3 自由地盤地表に対する盛土法肩の相対増幅特性 (FLUSHによる解)

4. 結論

既存道路盛土の耐震性を FEM 解析により検討し、増幅特性を決定づける要因として、次の結論を得た。

- (1) 盛土堤体や堤体下部、表層地盤、基盤の地盤物性が全て均質であれば、盛土の最大加速度の相対増幅率は 1.1~1.2 であり、 $V_{sg}/V_{sb}=0.5$  では、1.2~1.4 となる。不整形性による増幅の効果であると言える。
- (2) 盛土堤体の剛性増加は、盛土の加速度増幅率を抑制させる効果 (たとえば、0.85 倍) がある。
- (3) 盛土堤体下のせん断剛性の増加は、盛土の加速度応答を大きく低減させ、自由地盤地表より小さくなるほどの抑制効果がある。

謝辞 本研究は、社団法人四国建設弘済会の「平成 19 年度建設事業に関する技術開発支援事業制度」による助成を受けて実施しました。記して謝意を表します。