

2次元FEM解析による傾斜基盤上の高速道路盛土の地震動増幅特性

盛土，増幅，傾斜地盤

愛媛建設コンサルタント	正会員	西本 健一
愛媛建設コンサルタント	正会員	神野 邦彦
愛媛大学工学部	国際会員	森 伸一郎
愛媛大学大学院	学生会員	佐伯 嘉隆

1. はじめに

道路盛土の地震時安全性の検討は，その災害時の復旧の役割を考えると重要であることは論を待たない．来たるべき南海地震・東南海地震を想定して高速道路盛土の耐震安全性を検討した．道路盛土でも，高速道路ともなればその堤高は大きく，盛土内での地震動の増幅現象の存在が考えられるが，現在の耐震設計では盛土内の増幅効果は特に考慮されていない．そこで，盛土内の増幅効果を検討した．また，軟弱地盤に建設される盛土については，盛土堤体下の軟弱地盤を地盤改良することが多い．たとえ改良しなくても，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．しかし，このような効果も必ずしも考慮されていない．また，基盤が傾斜して露頭に現れるような幾何形状の際に，傾斜開始点直上で，下方からの上昇波と露頭側からの表面波との重ね合わせにより地震動の増幅することがある．そのメカニズムにより表面波の波長と構造物の平面寸法との兼ね合いで，その影響が考慮されるべきであるが，やみくもに検討される場合がある．本研究ではこれらの背景を鑑みて，事例検討を基に盛土の地震応答に及ぼす基盤傾斜の影響を盛土内増幅率の観点から現実的な視点で検討する．

2. 検討ケースと検討対象地盤

図-1に検討ケースの概略図を示す．モデルのメッシュではなく，盛土堤体，表層，盛土堤体下部地盤，基盤の境界線のみ表している．ケース1は軟弱地盤上に盛土がある場合，ケース2は盛土堤体下の軟弱地盤を地盤改良した場合，あるいは，盛土の上載圧による剛性増加効果を考慮した場合，ケース3は傾斜基盤を考慮した盛土で軟弱地盤が傾斜基盤上にある場合，ケース4は盛土の一部が傾斜基盤上にある場合，ケース5は直接基盤上に盛土がある場合である．基盤が杭支持層相当のせん断波速度 ($V_s=330\text{m/s}$) のケース(A)と当該地点の浅い位置に現れる岩盤のせん断波速度 ($V_s=700\text{m/s}$) のケース(B)を検討対象とした．ここでは，紙面の関係からケース(A)について述べる．検討対象地盤は，およそ厚さ20mの粘性土を中心とする表層で $V_s=330\text{m/s}$ の支持層が下にある．表層地盤は，粘性土が主体の地盤であり，せん断波速度は160-220m/sである．

3. 解析結果と考察

(1) 最大加速度応答

図-2に(a)線形，(b)等価線形の各位置での最大加速度を示す．基盤上の盛土(ケース5)を除き，自由地盤地表(以下，自由地表と言う)は同じ応答である．線形と等価線形を比べると，傾向は似ているが等価線形の方が位置の違いによる変動量が小さくなる．以下では，主に線形の場合について考察する．盛土法尻では地盤改良の有無に関係なく自由地表より応答が小さい．これは盛土堤体-堤体下部地盤系と自由地盤系との振動特性の違いによる相互作用の結果であると考えられる．いずれのケースでも盛土法尻に比べると盛土法肩の応答は大きくなっている．特に，地盤改良のない場合または盛土の上載圧による下部地盤の剛性増加効果を考慮しない場合に相当するケース1-Aでは，盛土法肩は自由地表よりも大きくなっており盛土の増幅効果が見られる．盛土堤体下部地盤の剛性を上げた場合のケース2-Aでは，盛土法

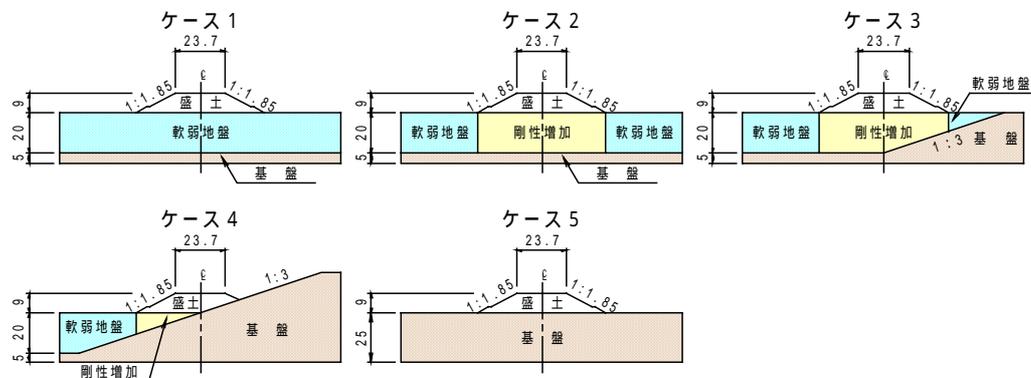


図-1 検討ケースの概略図 (単位:m)

Amplification characteristics of seismic motion of highway embankment on soil stratum with inclined basement captured by 2D-FEM analyses

K.Nishimoto (1, Ehime Kensetsu Consultant), K.Kohno(1), S.Mori (2, Ehime University), Y.Saeki(2)

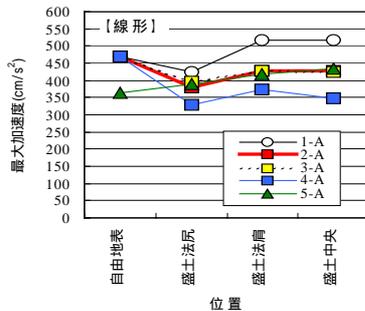


図-2(a) 各位置での最大加速度

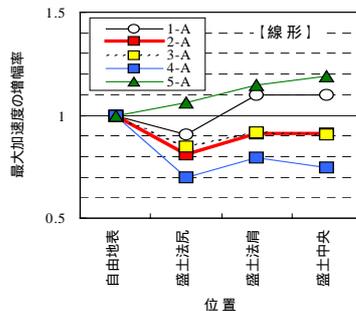


図-3(a)自由地表に対する最大加速度比

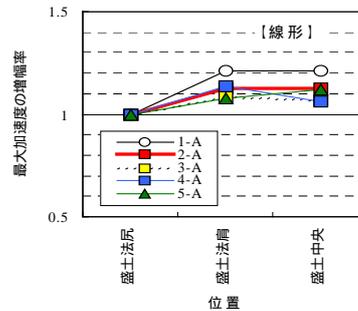


図-4(a)法尻に対する最大加速度比

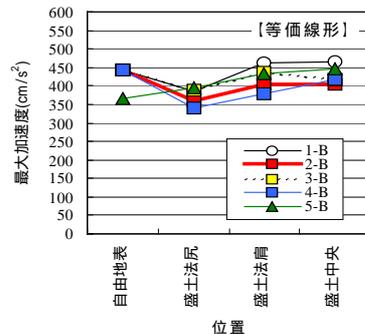


図-2(b) 各位置での最大加速度

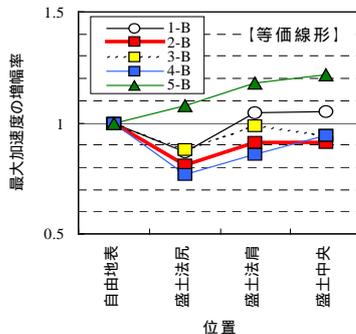


図-3(b)自由地表に対する最大加速度比

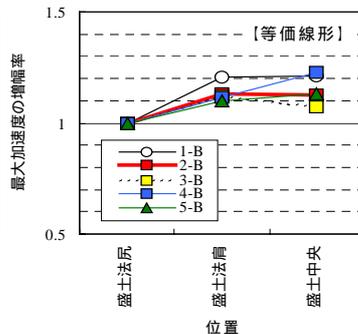


図-4(b)法尻に対する最大加速度比

肩とはいえ自由地表よりも応答が小さくなる。基盤の傾斜が盛土中心から始まるケース 3-A の場合でも基盤の傾斜がないケース 2-A と差違はほとんどない。堆積層のない支持層相当の剛性の基盤上に直接盛土がある場合のケース 5-A では、自由地表は工学的基盤そのものであり、応答は小さいが、盛土の応答はこれまでの場合よりも小さめではある。増幅もなく逸散減衰効果が最も良く現れたためであると考えられる。最後に、盛土堤体底面の半分が傾斜基盤にある場合のケース 4-A では、ひときわ盛土の法尻・法肩とも応答は小さい。これは、盛土の片側が直接基盤に載っているだけでなく、盛土の下部の堆積層側にのみ堆積層があり、この方向への波動の逸散により逸散減衰効果を向上させているためと考えられる。

(2) 最大加速度応答の比率と盛土内増幅

図-3 に(a)線形, (b)等価線形の場合の自由地表に対する各地点の最大加速度比を示す。実質的な最大加速度に関する盛土増幅率と読み取れる。堤体下部地盤の剛性の向上を見込まなければ増幅するが、見込めば増幅しないという前述の考察が明瞭に示されている。傾斜基盤の場合は、基盤傾斜による堤体下部地盤の幾何学的形状により効果が異なり、水平基盤に比べて増幅は大小する。基盤上に直接盛土が載っているケースでは、自由地盤に対する増幅は大きくなるが、応答そのものは、図-2 で見たように、この事例の場合では増幅現象としては現れない。また、線形で見られる各ケース間の差違は図-3 では等価線形の場合には小さくなる様子が見られる。この事例の検討では、自由地盤とは盛土の堤体下面幅の2倍程度以上離れた地盤を想定している。しかしながら、広範囲を対象に解析が行われる場合が少なく、また、実測などによる場合には、敷地の関係から、盛土法尻に対する盛土法肩の応答が対象となる場合が少なくない。そこで、そのような相対的な応答について考察する。図-4 には盛土法尻を基準とした盛土法肩と盛土天端中央の応答を示す。これまでの検討で見てきた各ケース間の差違は小さくなり、一様に盛土法肩に対して 1.1 から 1.2 倍の増幅を示し、線形と等価線形の場合でもその傾向は変わらない。このことから、盛土法尻に対する盛土法肩の相対的な増幅特性には周辺地盤、下部地盤、基盤形状の違いが反映されにくい可能性を示唆している。あくまで、この一事例のことが普遍的なことかどうかは今後の研究による必要がある。また、紙面の制約により最大値のみの考察であったが、伝達関数による検討結果も示したい。

4. 結論

高知度の軟弱地盤上の盛土とそれが傾斜基盤上にある場合について検討して、傾斜基盤の盛土堤体の動的応答に及ぼす影響を2次元 FEM 解析により検討し、次の結論を得た。

- (1) 盛土堤体下部の剛性向上を考慮すると考慮しない場合にあっては盛土内増幅は低減した。
- (2) 基盤傾斜が盛土中央下方から始まる場合と盛土端部下方から始まる場合を検討した。前者は、水平成層地盤の場合に比べて応答はわずかに小さくなったのに対して、後者では応答は明らかに小さくなった。

謝辞 本研究は、地盤工学会四国支部内に設けられた「NEXCO 西日本四国支社 耐震性評価手法検討委員会」(委員長 愛媛大学 矢田部龍一教授)の研究の一環として実施したものです。実施に当っては、NEXCO 西日本四国支社の関係者の皆様には大変お世話になりました。記して謝意を表します。