

III-36

地震応答解析による鉄道盛土の被害機構分析

日本大学工学部 学 ○大谷 健介 学 小沼 幹治 正 中村 晋

1. はじめに

橋梁などの構造物に比べると盛土の被害は、低い震度でも発生していることが報告されていることから、盛土は建造物のなかで最も耐震性が低いと言える。さらに、個々の地震被害例を見ると盛土の被害は構造物よりはるかに広範囲に及んでいる。1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震による八戸北部に位置する鉄道盛土は、これまでの地震により被害をうけた盛土のうち、事後の調査・分析が十分になされている。十勝沖地震時に、東北本線は盛岡～青森間の複線化工事中であったが、新設盛土の被害が既設盛土に比べて圧倒的に多かった。その特徴として、軟弱地盤上につくられた砂質の高盛土の崩壊、沈下が多かったことが挙げられる。このことは、地震動の特性と地盤固有の震動特性が強く盛土の被害に影響を及ぼしていることを示している。地震による被害機構を予測するには、入力地震動の特性のみならず、盛土の震動特性を知ることが重要であり、盛土の施工過程は盛土の震動および被害機構の重要な因子の1つであると考えられる。

本研究では、地震による盛土の被害機構に及ぼす盛土の施工過程の影響を把握するため、施工過程を考慮した初期応力解析をふまえた地震応答解析を行う。その際、十勝沖地震と三陸はるか沖地震においての被害を受けた八戸北部に位置する東北本線の鉄道盛土を解析の対象とした。

2. 解析手法及びモデル

解析には2次元有限要素法に基づく非線形地震応答解析法<sup>1)</sup>を用いた。十勝沖地震で被害を受けた盛土の解析モデルは、図-1に示すとおりであり、盛土の高さは約18m、幅は約60m、その支持地盤の深さは約38m、幅は約110mである。そのモデルの節点数は1042、要素数は1096である。盛り立て過程を考慮した初期応力解析は、盛土の高さを1層あたり約1.2mとし15層に分け、要素の自重を層を加えながら外力とし作用させた。

三陸はるか沖地震で被害を受けた盛土の解析モデルは図-2に示すとおりであり、盛土の高さは約12m、幅は約61mであり、その支持地盤の深さは約40m、幅は約116mである。そのモデルの節点数は1011、要素数は1043である。両モデルに対する基盤層( $V_s=300\text{m/s}$ )と軟弱なビート層をのぞき、地盤材料の非線形性を考慮し、その特性としてHardin-Drebnichモデルを用いた。両モデルとも盛土およびその支持地盤は9種の地盤物性で構成し、表-1に三陸はるか沖地震に対する地盤モデルで用いた基本的な地盤物性を示す。盛り立て過程を考慮した初期応力解析は十勝沖地震に対する解析モデルと同様であるが、盛土の高さを1層あたり約1.0mとし14層に分け、要素の自重を外力とし作用させ応力状態を求めた。初期応力解析は地盤を弾性体とし、地盤物性には拘束圧依存の弾性剛性を用いた。解析は盛り立て過程における状態(盛立解析)のみならず盛土が既に存在している状態(一体解析)に対しても実施した。解析に用いた入力地震動は、両地震により八戸港で観測された記録を用いた逆増幅解析により $V_s=300\text{m/s}$ 程度の地盤で得られた地震動を用いた。

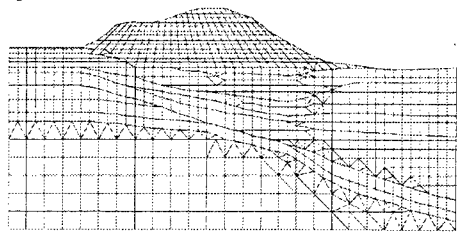


図-1 十勝沖地震に対する検討モデル

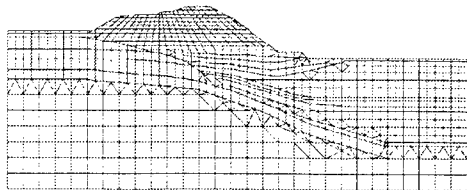


図-2 三陸はるか沖地震に対する検討モデル

表-1 9種の地盤物性

土材特性	$V_s(m/s)$	$\gamma (t/m^3)$	$\nu$
盛土材	$121.7 \sigma_v^{0.04}$	1.53	0.40
腐食土	$100.0 \sigma_v^{0.25}$	1.75	0.45
洪積砂	160.0	1.80	0.45
ピート層	$30.0 \sigma_v^{0.549}$	1.14	0.45
沖積砂 (1)	$62.3 \sigma_v^{0.34}$	1.70	0.45
ピート層	$30.0 \sigma_v^{0.549}$	1.38	0.45
沖積砂 (2)	$62.3 \sigma_v^{0.34}$	1.70	0.45
沖積砂 (3)	190.0	1.30	0.45
基盤	300.0	1.80	0.45

3. 解析結果・検討

十勝沖地震、三陸はるか沖地震に対する解析の一例として三陸はるか沖地震に対する検討結果を示す。まず、一体解析および盛立て解析により得られた主応力分布を図-3、4に示す。両解析とも盛土の支持地盤については、盛土中央部から盛土の右側に向かうにつれ主応力が鉛直方向から水平方向へと移行していることがわかる。次に、盛立て過程の考慮の有無に応じた盛土内主応力の状態を比べると、盛立て解析では盛土の主圧縮応力の方向は盛土斜面の勾配に平行となっている。一体解析では主応力の方向は、表層においては盛土斜面の勾配に対して平行であるものの、盛土の内部をみると主応力が鉛直方向に圧縮している。さらに、主応力の大きさ、方向に違いが見られる。

次に地震応答解析により行われた盛土内で最大応答加速度の発生した時刻における変位図を図-5、6に示す。その変位状態には初期応力解析による差異が明らかに現れる。一体解析による初期応力を用いた結果は、盛土上部中央付近での変動が大きく、実際の被害形態である盛土右側斜面の崩壊とは異なる形状を示していると考えられる。一方、盛立て解析による初期応力を用いた結果は、盛土右側斜面全体がすべり性能に対応する様な流動を示している。これらのことにより盛土の被害機構には、初期応力の影響は大きいと考えられる。

4. おわりに

本研究では、盛土の施工過程が地震応答解析に影響を及ぼすことが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 吉田望：有限要素法プログラム「STADAS」

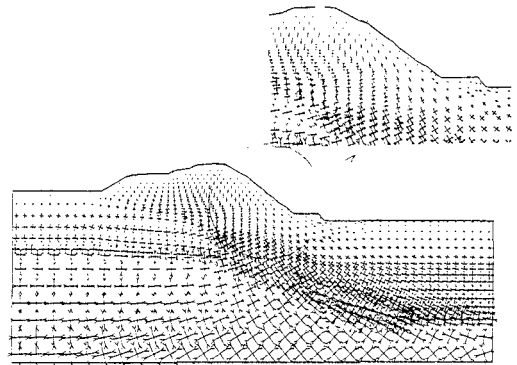


図-3 一体解析による主応力分布図

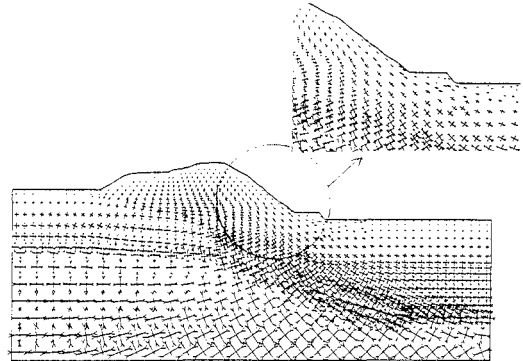


図-4 解析による主応力分布図

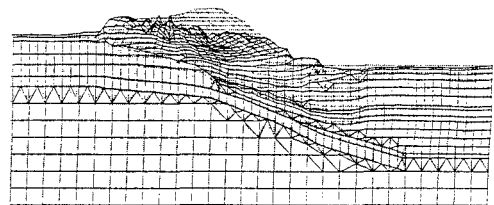


図-5 一体解析による初期応力を用いた応答変位 (盛土内最大応答加速度発生時)

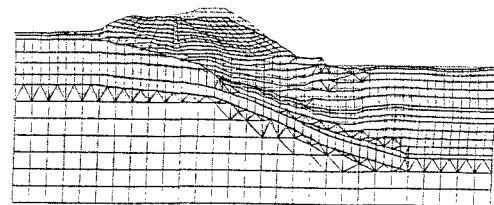


図-6 盛立て解析による初期応力を用いた応答変位 (盛土内最大応答加速度発生時)