

東北地方太平洋沖地震による造成宅地盛土被害の考察

東京電機大学理工学部 正会員 ○石川 敬祐

東京電機大学理工学部 フェロー会員 安田 進

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、東日本の広い範囲で地盤災害が発生した。筆者等は、地震翌日から現地調査を実施し、福島県や宮城県の丘陵地の造成宅地盛土の被害調査及び土質試料採取を実施した。本報告は、造成宅地盛土の被害調査概要と採取試料による室内土質試験結果（物理特性、動的特性）とその結果を用いて残留変形解析 ALID による被害状況の検証を実施した。

2. 現地調査結果

現地調査は、福島県白河市・須賀川市、宮城県仙台市において実施した。各地点の場所は表1に示す。みさか2丁目や木之崎では、崩壊盛土部の法先に溜池や沼があり、それに向かって大きくすべり変状が発生していた。仙台市太白区緑ヶ丘4丁目の被害は、法面崩壊であり、同町内ではこの他にもすべりや沈下などの地盤変状が確認された。須賀川市畑田みどりが丘では、盛土の法面が崩壊していた。現地調査時（2011.5.4）には盛土法先部を大型土嚢で押さえた仮復旧状況であった。崩壊した盛土の法先部からは水がしみ出していた。このことから地下水位が盛土内の高い位置に分布していたことが推察される。崩壊した盛土高さは約5.7mであり、盛土法肩から宅地内へ約33m入った場所までクラックが発生していた。当該地を代表例として、造成前・後の空中写真を用いて実施した写真測量による盛土断面図を図1に示す。なお、写真測量による精度は20cm程度ある。被害が生じた箇所は、盛土部であり盛土基盤の勾配は約1.8度であった。なお、他の調査地点ともに写真測量結果より地盤変状が発生していた箇所は盛土工区であった。

3. 室内土質試験結果

現地調査時に採取した土質試料を用いて物理試験及び締固め試験を実施した。また、繰返しねじりせん断試験によって締固め度が異なる際の繰返しせん断強度比も求めている。各試料の試験結果を表1に示し、粒径加積曲線を図2に示す。福島県の盛土材は、 $F_c \approx 25 \sim 37\%$ 程度含み、 $U_c = 132 \sim 524$ 、 $U_c' = 2.8 \sim 36.8$ であり粒度配合の良い試料であった。ただし、現地調査時に採取した塊状のブロック試料の密度とその試料の ρ_{dmax} より、締固め度を推定すると $D_c = 72$ 、 87% であった。一般的な盛土は $D_c = 90\%$ 程度以上と示されている¹⁾ことから、被害が生じた盛土の締固め度は低い状態であったと考えられる。

繰返しねじりせん断試験による動的強度特性は、ブロック試

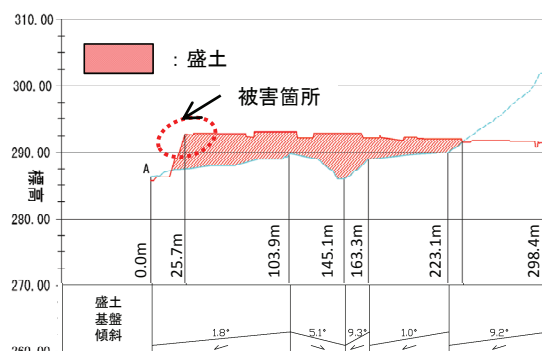


図1 須賀川市畑田みどりが丘の盛土断面図

表1 各試料の試験結果一覧表

試料採取場所	福島県			宮城県
	白河市 みさか 2丁目	須賀川市 木之崎	須賀川市 みどりが丘	仙台市 太白区 緑ヶ丘 4丁目
土の種類	火山灰性堆積物			まさ土
ρ_s (g/cm ³)	2.680	2.714	2.649	2.687
ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.244	1.732	1.693	1.874
W_{opt} (%)	35.6	20.3	20.0	14.7
D_c (%)	72.4	86.8	-	-
F_c (%)	36.9	25.0	26.3	0.0
U_c	132.4	524.4	412.6	3.0
U_c'	2.8	36.8	17.3	1.0
IP	15.7	NP	NP	NP
R_L	0.293	0.239	0.130	-

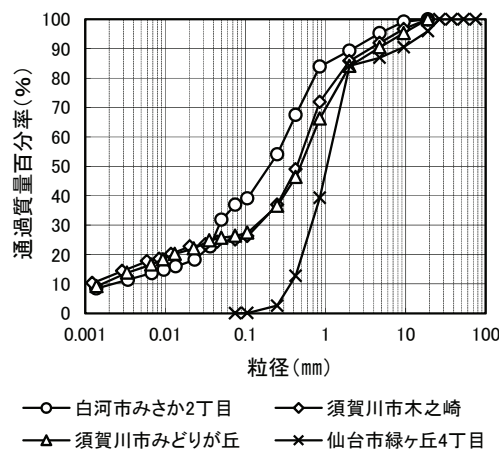


図2 各試料の粒径加積曲線

キーワード 造成宅地盛土、締固め度、繰返しせん断強度比、残留変形解析

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学理工学部 TEL049-296-3289

料を用いて実施した。有効拘束圧は 50kPa とし、等方圧密終了後に非排水状態で一定の繰返し応力比の正弦波荷重を 20 波作用させた。ここでの繰返しせん断強度比 R_L は、両振幅せん断ひずみが 7.5% 時の繰返しせん断応力比としている。これまでに実施してきた既往の試験結果²⁾³⁾と今回の試験結果の比較図を図 3 に示す。 D_c と R_L の関係より、 $D_c=70\sim80\%$ では R_L に大きな変化がなく、 $D_c=90\%$ 付近から R_L が増加する傾向を示している。今回採取した試料の D_c は 72、87% 程度であり締固め度が低い状態であるため、各試料の R_L は小さい状況であったと考えられる。なお、みどりが丘の R_L は近傍の木之崎地区と同時期に盛土施工が施されていることから同程度の締固め度を想定し $D_c=72\%$ の再構成試料の結果である。

4. 被災断面に対する残留変形解析結果

解析モデルは、図 1 に示す須賀川市畑田みどりが丘の被災断面を用いて実施した。入力外力は、検討地点の近傍で観測された KiK-net 長沼の地表面加速度(2011/3/11-14:46 FKSH08)⁴⁾を工学的基盤まで引き戻した EW 波形を用いて、各要素の地震時発生せん断応力を FLUSH により求めて設定した。解析手法は、残留変形解析 ALID である。盛土地盤の物性値は、表 1 に示す須賀川市みどりが丘の土質試験結果を用いて設定した。また、地下水位は現地調査時に盛土内の高い位置にあることが想定されたため盛土天端から GL-1.0m に設定した。解析による変形図を図 4 に示す。盛土法肩から沈下した範囲での平均沈下量は 99.8cm と大きく変状する結果を示した。また最大沈下量は 147.9cm であり盛土法肩より 5m 地点で発生している。なお、現地調査時に測定した沈下量は、盛土法肩から 5m 付近で最大 140cm 程度の沈下であった。次に、当該盛土の $D_c=90\%$ 程度の場合を想定し、試験値 R_L を 2 倍した強度で解析した変形図を図 5 に示す。図 5 と同様に沈下量を求めると平均沈下量は 45.9cm となり沈下量は半分以下になることが分かった。また最大沈下量は 59.6cm であり盛土法肩より 2.8m 地点で発生することが分かった。盛土の締固め管理を適切に行うと変位量が大幅に減少すると考えられる。

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震で被害を受けた造成宅地盛土の被害調査及び土質試験を実施し、その結果を用いて解析を実施した。その結果、造成宅地盛土の被害は盛土施工された箇所では被害が生じていた。被害を受けた盛土は $D_c=72$ 、87% で締固め度が低い状態であったと考えられる。残留変形解析より、盛土の締固め度を適切に設定すると沈下量が小さくなることが分かった。また、変位が発生する範囲も減少することが分かった。

なお、本研究は科学研究費助成事業「既設宅地造成盛土の地震時安全性の定量的評価手法の研究」の補助を受けて実施したものである。

【参考文献】

- 1) 地盤工学会関東支部・造成宅地の耐震調査・検討・対策の事例研究委員会：造成宅地の耐震調査・検討・対策のケーススタディー，2009.
- 2) 藤岡一頼等：道路盛土材料の動的強度特性，第 30 回土木学会地震工学研究発表会論文集，pp875-880，2009.
- 3) 安田進等：盛土材の締固め度と動的特性，第 45 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp1505-1506，2010.
- 4) (独) 防災科学技術研究所：基盤強震観測網 KiK-net, <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>

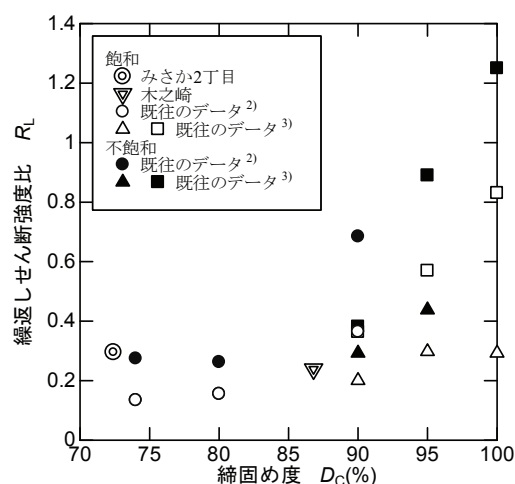


図 3 D_c - R_L の関係

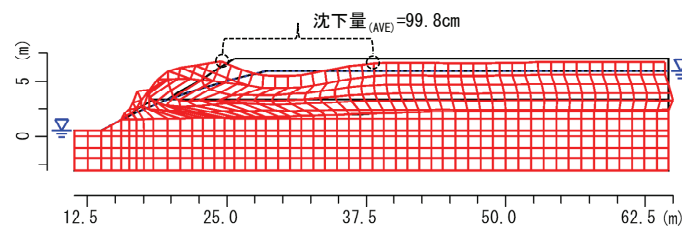


図 4 残留変形解析結果 (R_L =試験値)

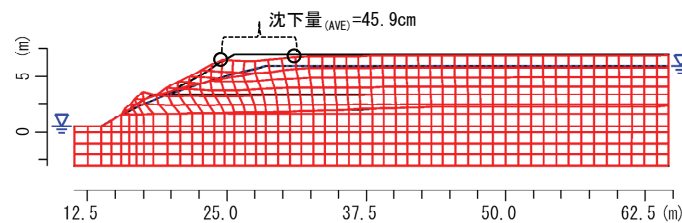


図 5 残留変形解析結果 (R_L =試験値 2 倍)