

模型実験による盛土内のボックスカルバートの目地部からの土砂流出過程の検討

東京電機大学 正会員 ○石川 敬祐

東京電機大学 名誉会員 安田 進

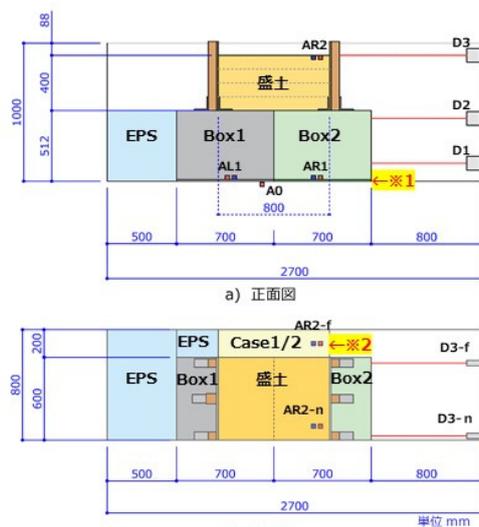
高速道路総合技術研究所 正会員 日下 寛彦

1. はじめに

高速道路盛土のような線状土構造物には、ボックスカルバート(以下、Box)とよばれる内空構造物が多数設置されている。2004年新潟県中越地震や2016年熊本地震などの地表最大加速度が1Gクラスの内陸直下型地震では、高速道路盛土の損傷に加えてBoxと路面の段差やBox間の目地部が開くことで盛土材がBox内へ流出するといった地盤被害¹⁾²⁾が生じ、発災直後の緊急輸送路としての重要な機能を確保することが困難となった。また、この種の被害が多地点で同時に発生するとその復旧作業に多大な時間が費やされる可能性が危惧される。しかしながら、Box間の目地が開くことや盛土材がBox内に流出することの根本的な過程の解明に至っていないのが現状である。この過程を解明することは合理的な設計やその後の対策工法の開発につながることを期待される。そこで本研究では、盛土とBoxを模擬した模型による振動台実験を行い、入力加速度を段階的に変化させた際のBox上の盛土の変状過程や目地部からの盛土の流出する過程について検討した。

2. 模型実験の概要

図1に模型実験の概要と計測器配置図を示す。土槽は内寸で幅2700mm×高さ1000mm×奥行800mmの剛体土槽である。その一方にスペーサーとして発泡スチロール(EPS)を敷き詰め、幅700mm×高さ512mm×奥行600mmの木製のBox模型を2つ配置した。ここで目地部の開きが生じやすい条件とするため、各Boxの底面処理(図1の※1)の工夫として、Box1は底面に錘を置くことで底面摩擦を増大させ、Box2は土槽底面にテフロンシートと鉄球を配置することで底面摩擦を低減している。またBox側面(図1の※2)の境界として、Case1はBoxやその上部の盛土が縁切りされやすい状況としてEPSを用いた摩擦抵抗が小さい状態、Case2はBox上の盛土と同じ材料を用いて盛土を同様に作製した摩擦抵抗が大きい状態とした。盛土に用いた地盤材料は山砂であり、その材料特性を表1に示す。盛土は、最適含水比に含水調整したのちに最大乾燥密度の92%の乾燥密度($\rho_d=1.892 \text{ Mg/m}^3$)となるように10cm層厚で突き固めて作製した。また、Box上の盛土の両側面には木製の側壁を設けている。加速度計は、土槽(A0)と各Boxの底部(AL1, AR1), Box2上の盛土部(AR2-n), Case2の側面盛土の上部(AR2-f)にそれぞれ配置した。また、Box2の変位挙動を測定するために巻取り式変位計を配置している。加振は、土槽長手方向に周波数4Hzの正弦波を10秒間行い、その際の振幅は段階加振として50~700 cm/s^2 まで、50 cm/s^2 ずつ上げていった。なお最大加速度を700 cm/s^2 としたのは振動台性能の上限による。



- ※1 ボックスの底面処理: Box1は底部に錘を配置して摩擦抵抗を増大, Box2は底面に鉄球を配置し摩擦抵抗を低減
 ※2 ボックス側面境界: Case1はEPS(摩擦抵抗:小), Case2は盛土90cm厚(摩擦抵抗:大)
 ■/■: 加速度(水平/鉛直), ■: 巻取り式変位(D)
 EPS: 発泡スチロール, 盛土: 10cm層厚で締固め

図1 模型実験の概念図

表1 盛土材の材料特性

土粒子の密度	ρ_s	Mg/m^3	2.669
平均粒径	D_{50}	mm	0.900
細粒分含有率	F_c	%	11.8
均等係数	U_c		45.5
曲率係数	U'_c		1.94
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	Mg/m^3	2.056
最適含水比	w_{opt}	%	9.2

キーワード 振動台実験, 盛土, ボックスカルバート, 最大加速度

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 TEL 049-296-3289

3. 模型実験の結果

各 Case の実験結果として、台加速度と盛土地表付近の最大加速度の関係を図2に示す。これより Case1 (Box 側面の摩擦抵抗が小) では、振動台の台加速度が 250cm/s^2 までは台加速度と Box 上の盛土の最大加速度はほぼ同じ値となり、Box や盛土の相対的な水平変位は生じて

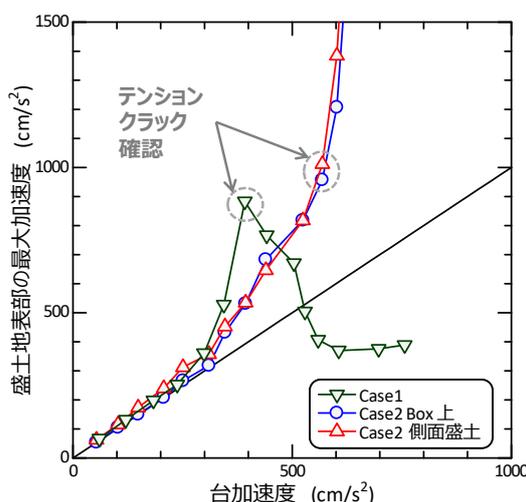


図2 各 Case の台加速度と盛土地表付近の最大加速度の関係

いない。台加速度が 300cm/s^2 から Box 上の盛土の加速度が増幅することが確認され、台加速度が 400cm/s^2 作用すると Box 上の盛土の最大加速度は 880cm/s^2 に達した。また盛土上部の水平変位量が 8mm ほど生じた際に Box 間の目地部付近からテンションクラックが形成され、地表面までクラックが到達した。その後、台加速度が 750cm/s^2 まで段階加振を行ったが、目地部が徐々に開口していく挙動となった。図3には、台加速度を 400cm/s^2 と 750cm/s^2 の加振終了時の状況を示す。このように、Box の側面が縁切りされた状況では、盛土地表付近で 0.9G ほどの大きな加速度が作用することで盛土中にテンションクラックが生じた。しかし盛土材が崩落して目地部から流出する挙動までは確認されなかった。一方、図2の Case2 (Box 側面の摩擦抵抗が大) に着目すると、Box と側面盛土の摩擦抵抗によって Box 上の盛土材にテンションクラックが生じる際の台加速度は 570cm/s^2 と大きくなっている。また、その際の盛土地表付近の加速度応答は約 1G 程度となっている。ただし、Case1 のような Box 上の盛土内に開口亀裂までは生じていない。台加速度が 600cm/s^2 の際に盛土地表付近では最大加速度が $1.2\sim 1.3\text{G}$ 作用した際に図4上に示すように地表面までクラックが到達し、クラックで分断された土塊が形成された。この際の盛土上部の水平変位量は 10mm ほど生じており、Case1 の変位量に近い値となっている。そして台加速度が 650cm/s^2 時には図4下に示すようにクラックで分断された土塊が Box の目地付近を始点とするクサビ上の土塊に変化し、その後崩落に至った。

4. まとめ

得られた知見を整理すると、①十分に締固めた盛土では、水平加速度が 1G 程度作用すると Box 上の盛土内にクラックが生じる。②Box と側面盛土の摩擦が小の場合では Box 上の盛土にはクラックのみ生じ、Box 間の目地は開くが崩落はしない。③Box と側面盛土の摩擦が大の場合では Box 上の盛土がクラックで分断され、クサビ状の土塊が形成され崩壊に至る。本実験には、東京電機大学学生の瀧澤大樹氏、東條太郎氏の協力を得た。

参考文献 1)新潟県中越地震災害調査委員会：新潟県中越地震災害調査委員会報告書，地盤工学会，2007. 2)細野ら：「平成28年熊本地震」による高速道路の土構造物における変状調査結果の報告，第52回地盤工学研究発表会，pp.249-250，2017.

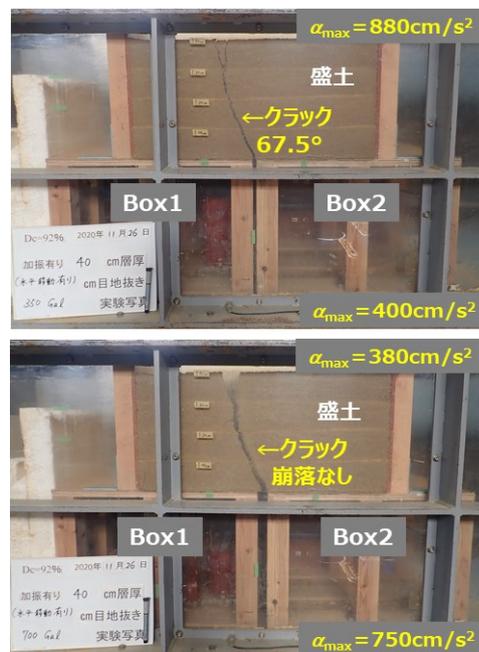


図3 Case1 の加振終了時の状況

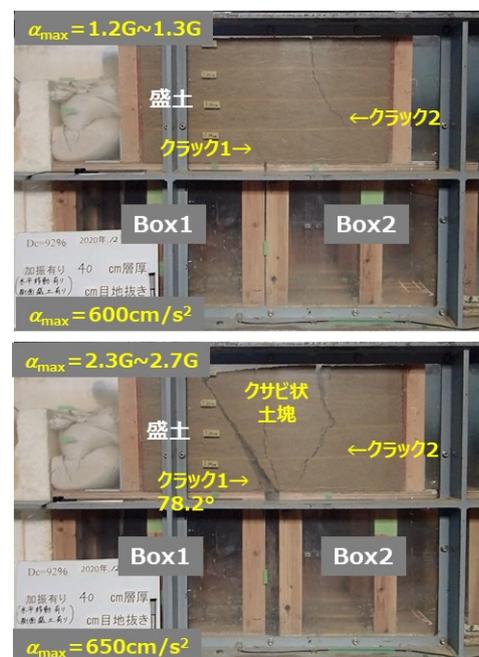


図4 Case2 の代表的な加振時の状況