

1) 国際地震工学センター

7) - 4 宅地擁壁の耐震性能評価手法に係る解析的検討【安心・安全】

Analytical Study on Seismic Capacity of Dry Masonry Retaining Wall

(研究開発期間 令和4～6年度)

国際地震工学センター
International Institute of Seismology and
Earthquake Engineering

的場 萌子
MATOBA Moeko

中川 博人
NAKAGAWA Hiroto

We conducted finite element analyses to clarify the influence of buildings with spread foundations on dry masonry retaining walls during earthquakes. The seismic behavior of a dry masonry retaining wall with/without a building was examined based on the centrifugal test results and the analysis results.

【研究開発の目的及び経過】

近年、練積み擁壁の老朽化により、大地震時において宅地擁壁の損傷もしくは破壊事例が相次いで報告されている¹⁾。これを踏まえ本研究では、国土交通省（令和2～5年度）総合技術開発プロジェクト「建築物と地盤に係る構造規定の合理化による都市の再生と強靱化に資する技術開発」と協働し、既存宅地擁壁の耐震性能評価手法の整備および補強工法の構築を目的とした検討を行う。

本課題では練積み擁壁の極限状態として空石積み擁壁を想定し、空石積み擁壁－地盤・建物系の地震時挙動について検討した。具体的には、既往の遠心載荷実験結果²⁾を再現できる2次元有限要素解析モデルを構築し、パラメトリックスタディを実施した。本報では、空石積み擁壁－地盤・建物系のシミュレーション解析結果について報告する。

【研究開発の内容】

図1に解析モデル概要を示す。数値解析にはFLIP 7.6.4³⁾を用いる。解析ケースはCase 1-A（建物有り）、Case 2-A（建物無し）である。文献2)の実験試験体（1/30縮小模型）の各値を実大スケール値に換算した寸法でモデルを構築した。本解析では地盤をマルチスプリング要素、建物質点及び基礎部、擁壁ブロックを線形平面要素、板バネをはり要素でモデル化し、板バネと建物質点及び基礎部との間には剛梁（はり要素）を付与した。

表1に建物モデル諸元、表2に地盤の材料諸元を示す。建物質点、基礎部の材料はアルミ（密度 $\rho_a=2.7\text{ g/cm}^3$ 、

ヤング率 $E_a=65000\text{ N/mm}^2$ ）、板バネ材料はステンレス（ $\rho_s=7.9\text{ g/cm}^3$ 、 $E_s=193000\text{ N/mm}^2$ ）である。地盤の初期せん断剛性分布は微小加振時の遠心載荷実験結果²⁾に基づき設定した。内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c 、最大減衰定数 h_{max} の値については既往の豊浦砂の動的変形試験結果を参照した。擁壁ブロックの材料はアルミとし、遠心載荷実験試験体と同一の密度（ $\rho_{a,r}=2.5\text{ g/cm}^3$ ）を与えた。地盤－擁壁間にはジョイント要素（摩擦角 $\phi_j=20\text{ deg}$ 、垂直方向及びせん断方向ばね剛性 K_n 、 $K_s=1\times 10^6\text{ kN/m}^2$ ）を付与した。地盤の境界条件について述べると、実験で使用した剛土槽を再現するために地盤側方を水平移動固定、地盤底面を鉛直・水平移動固定とした。減衰条件については建物質点と基礎部、板バネには3.1、8.7 Hzで1.0%となるRayleigh減衰、地盤と擁壁には8.7 Hzで0.5%となる

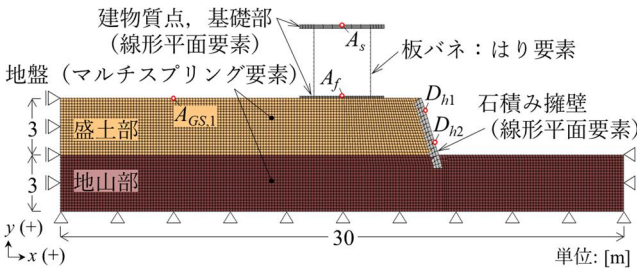


図1 数値解析モデル（Case 1-A、建物モデルあり）

表1 建物解析モデル諸元

建物質点	重量 m_s [kg]	1.39×10^5
板バネ	厚さ t_b [mm]	45
基礎版	重量 m_f [kg]	1.27×10^5
建物固有振動数（基礎固定） f_s [Hz]		3.1

表2 地盤解析モデル諸元

層	l [m]	γ [kN/m ³]	σ_{ma}' [kN/m ²]	$V_{s,ma}$ [m/s]	G_{ma} [kN/m ²]	ν [-]	m_G [-]	ϕ [deg]	c [kN/m ²]	h_{max} [-]
盛土部	3.0	15.974	15.974	180	5.28×10^4	0.33	0.5	40	5.0	0.25
地山部	3.0	16.954	16.954	180	5.61×10^4	0.33	0.5	40	5.0	0.25

l : 層厚, γ : 単位体積重量, σ_{ma}' : 各層中央における拘束圧, $V_{s,ma}$, G_{ma} : 各層中央におけるせん断波速度および剛性, ν : ポアソン比, m_G : 拘束圧依存係数, ϕ : 内部摩擦角, c : 粘着力, h_{max} : 最大減衰定数

る剛性比例型減衰を設定した。入力波には遠心載荷実験において振動台で実測された波形を用いており、最大加速度を $A_{imp}=0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.2 \text{ m/s}^2$ に調整した波形を独立に加振した。

【研究開発の結果】

図 2(a)~(e)に入力波最大加速度 $A_{imp}=4 \text{ m/s}^2$ 時における Case 1-A (建物有り) の応答時刻歴を遠心載荷実験結果 (Case 1-T)²⁾ と比較して示す。図 2 の(a)は建物頂部 A_s , (b)は基礎部 A_f , (c)は盛土部地表面 (左端部周辺) $A_{GS,1}$ の水平加速度, (d), (e)は擁壁の水平変位 (上方部 D_{h1} , 下方部 D_{h2}) の応答時刻歴である。図 2 より、数値解析結果は遠心載荷実験より得られた各水平加速度及び水平変位応答時刻歴を概ね再現している。図 2(d), (e)より、遠心載荷実験結果において擁壁上方部と下方部の残留水平変位は概ね等しい一方、数値解析結果では上方部の残留水平変位が下方部よりも大きい傾向にある。

図 3(a)~(d)に $A_{imp}=3\sim 6 \text{ m/s}^2$ 加振後における各擁壁ブロック中央の残留水平変位分布を示す。図中には灰色プロットで建物無しの場合の数値解析結果 (Case 2-A) 及び遠心載荷実験結果 (Case 2-T)²⁾ を併せて示している。図

3(a)より $A_{imp}=3 \text{ m/s}^2$ 入力時において、各擁壁ブロック中央における残留水平変位は遠心載荷実験結果、数値解析結果ともに y 軸方向へ概ね等しく分布している。図 3(b)より $A_{imp}=4 \text{ m/s}^2$ 入力時において、数値解析結果では擁壁中央から上方部 ($y=4.5\sim 5.4 \text{ m}$ 付近) にかけて残留水平変位が大きくなっている。また遠心載荷実験結果の傾向と同様に Case 1-A (建物有り) の擁壁の残留水平変位は Case 2-A (建物無し) よりも大きくなっている。一方、図 3(c), (d)より $A_{imp}=5 \text{ m/s}^2$ 入力時の数値解析による残留変位は Case 1-A と Case 2-A ではほぼ等しく、 $A_{imp}=6 \text{ m/s}^2$ 入力時では Case 1-A よりも Case 2-A の方が大きくなっている。これより擁壁近傍に建物が設置されるケースでは、地震時の建物応答により擁壁の残留変位が変化する可能性が示唆される。擁壁近傍の建物応答による空石積み擁壁の地震時損傷メカニズムへの影響については引き続き継続課題の中で検証していく。

なお、遠心載荷実験結果 (Case 1-T, Case 2-T) では $A_{imp}=4\sim 6 \text{ m/s}^2$ 入力時に下方部 ($y=3.6 \text{ m}$) において残留水平変位が大きくなっている。これは連続加振により擁壁下方部でブロックのはらみ出しが進展したものと推測される。上方部 ($y=5.4 \text{ m}$) の残留変位は Case 1-T (建物有り) の方が大きくなっており、 $A_{imp}=4 \text{ m/s}^2$ 入力時における数値解析結果の傾向と同様となっている。

【参考文献】

- 1) 橋本隆雄, 松下一樹: 2016 年熊本地震による被災宅地の被害分析, 土木学会論文集 A1, Vol.74, No.4, pp.522-533, 2018.
- 2) 柏尚稔, 的場萌子, 中川博人, 井上波彦, 竹谷修一, 岩見達也: 近傍に建物を有する宅地擁壁の地震時挙動 その 1 遠心載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 523-524, 2024.8
- 3) FLIP 研究会事務局: FLIP 研究会配布資料

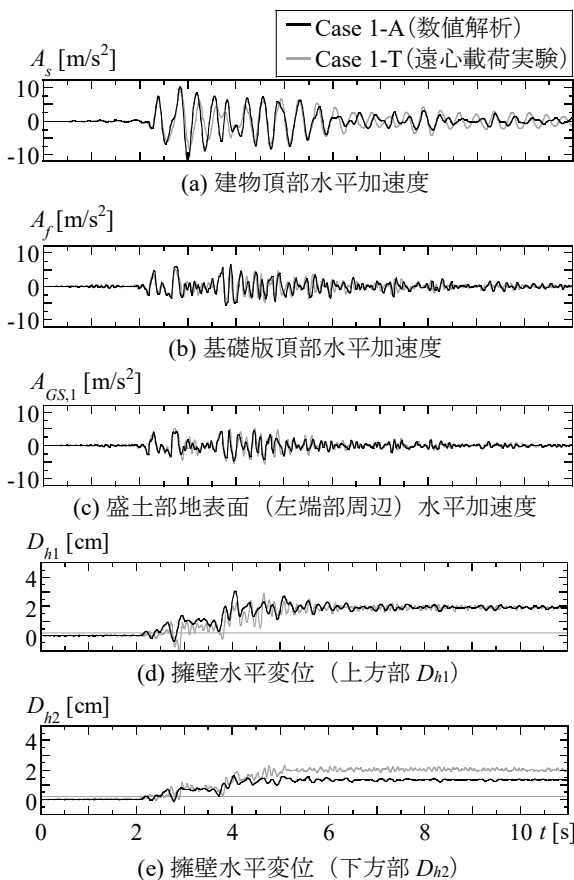


図 2 Case 1-A と Case 1-T の応答時刻歴の比較
(入力波最大加速度 $A_{imp}=4 \text{ m/s}^2$ 加振時)

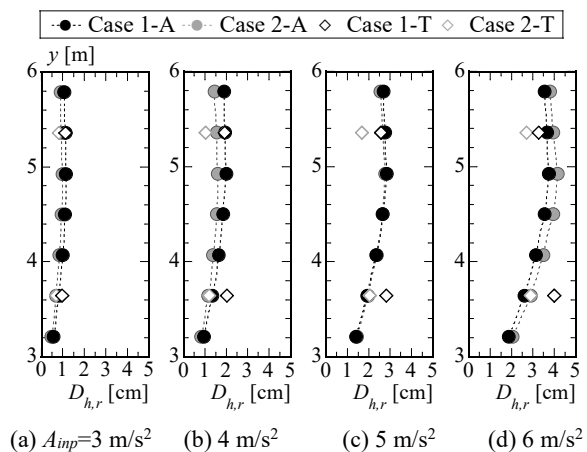


図 3 擁壁の残留水平変位分布