

地盤と構造物の適切なモデル化によるプレキャストアーチカルバートの地震応答特性の考察

京都大学大学院
京都大学国際融合創造センター
京都大学工学研究科
モジュラー工法協会

学生会員
正会員
正会員
非会員
非会員

○黄 再弘
木村 亮
岸田 潔
大村 宏幸
小野 由博

1. はじめに アーチカルバートは、従来のボックスカルバートに比べて薄い部材で適度に変形することから、地盤反力を期待することができ、力学性に優れている。しかし、地震が多発する日本での適用においては、地震時の盛土を含む動的特性の検討が必要である。そこで本稿では、アーチカルバートを含む盛土構造に対して動的有限要素法解析を実施し、地盤とアーチカルバート構造のモデルの差異が、盛土やアーチカルバート構造の動的挙動に及ぼす影響について検討を行う。ここでは、地盤に関する検討結果を示す。

2. 解析条件 本研究では、図1に示すように幅10m、土被り高さ1.5mの盛土式アーチ構造物を解析対象とし、実現場で施工される構造を参考とする。本解析では、基礎地盤上にプレキャストアーチカルバートを設置した後、盛土区間を9段階に分けて積み上げることで施工過程を模擬する。これに対して、最初は2次元弾塑性有限要素解析を行い、初期応力状態を算出する。つぎに、算定された初期応力を用いてカルバート横断方向に対する動的有限要素解析を行う。地盤の構成モデルには、*Drucker-Prager model* と *t_{ij}-sand model*¹⁾の2種類を用いた。地盤モデルの材料定数は、道路橋示方書²⁾とモジュラー技術マニュアル³⁾の盛土地盤材料範囲を用い、3軸圧縮シミュレーションから算定した。覆工の力学モデルは、一般的な *Tri-linear model* と覆工部材強度の軸力依存性を考慮した *AFD model*⁴⁾を利用した。地盤および覆工の材料定数を表1と表2に示し、解析検討パターンを表3に示す。入力する地震波形は、最大加速度600 gal、周波数0.88 Hzのsin波1周期とし、覆工底面下25mに入力した。本研究では、2ヒンジアーチカルバートを対象としているが、実際の継手部はボルトやPC鋼線により結合されているため、肩部構造は固定されているものと仮定した。用いた解析メッシュを図2に示す。領域底面は完全固定とし、領域側面は等変位境界とした。本稿では、地盤およびアーチカルバート構造物のモデル化の違いによる地震応答特性の差異について検討を行った。

表1 地盤定数

	盛土	基礎地盤
単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	19	20
静止土圧係数 K_0	0.5	0.5
ポアソン比 ν	0.3	0.3
C_t	0.91×10^2	0.64×10^2
C_e	0.48×10^2	0.43×10^2
m	0.3	0.3
破壊時の主応力比 $R_f = (\sigma_1 / \sigma_3)_{crit}$	6.2	7.4
D_f	-0.6	-0.6
α	0.85	0.85
弾性係数 E (kN/m ²)	2.8×10^2	4.2×10^2
内部摩擦角 ϕ (°)	27.2	30
減衰定数 h	0.05	0.05

表2 覆工材料定数

コンクリート	有効ヤング率 (E_e)	1.5×10^7 kN/m ²
	瞬時ヤング率 (E_c)	3.1×10^7 kN/m ²
	圧縮強さ (f_c)	4.0×10^4 kPa
	引張強さ (f_t)	2.69×10^3 kPa
鉄筋	ヤング率 (E_s)	2.0×10^8 kN/m ²
	降伏強さ (f_y)	4.0×10^5 kPa
鉄筋コンクリートの減衰定数 h		0.02

* E_e : 自重解析時, E_c : 動的解析時

表3 解析検討パターン

	<i>Drucker-Prager model</i>	<i>t_{ij}-sand model</i>
<i>Tri-linear model</i>	Case-1	Case-3
<i>AFD model</i>	Case-2	Case-4

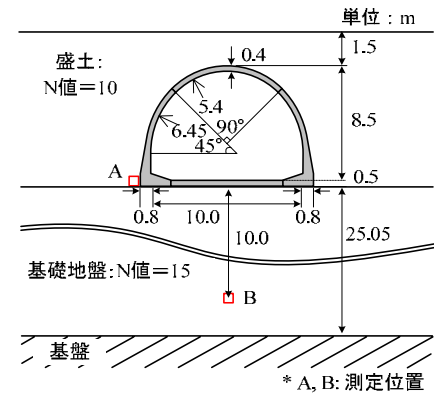


図1 解析対象
(シングルアーチカルバート)

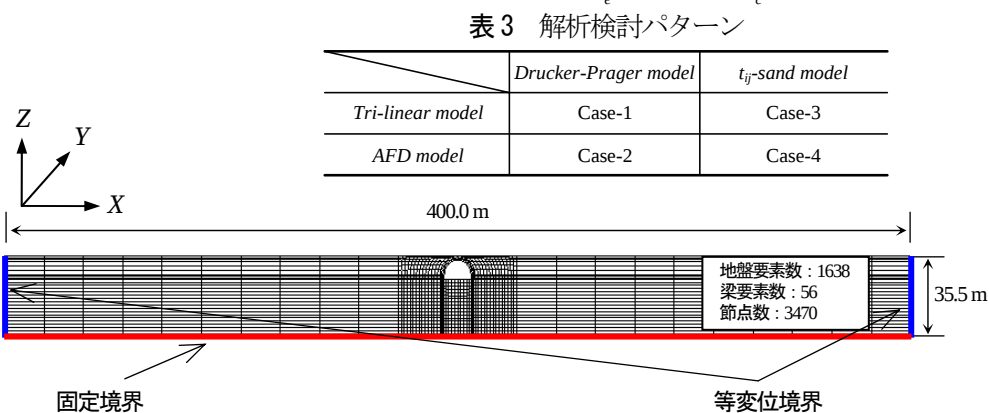


図2 解析メッシュと境界条件
(領域両側の鉛直座標が等しい節点は全く同じ水平変位を生じると仮定)

キーワード アーチカルバート, 動的有限要素解析, 地震応答特性

連絡先 〒615-8520 京都市西京区京都大学桂 京都大学ローム記念館 TEL 075-383-3041

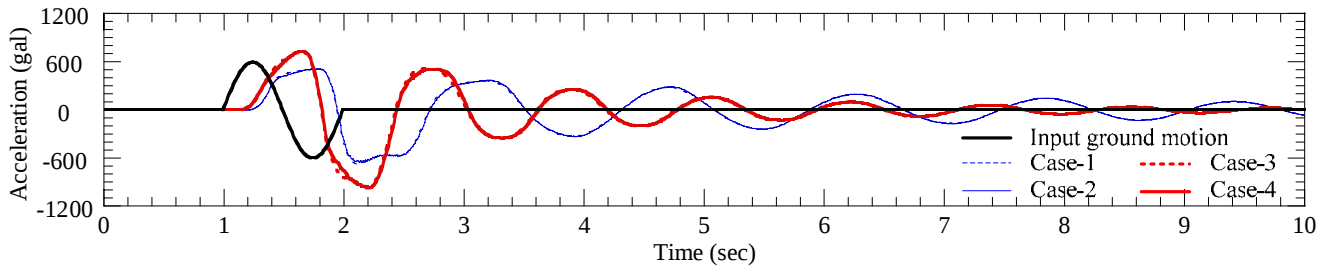
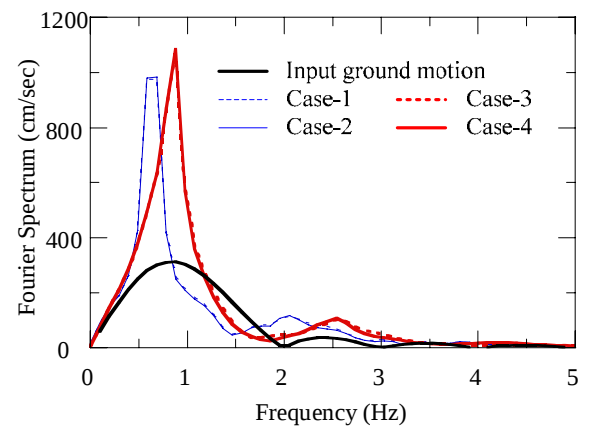


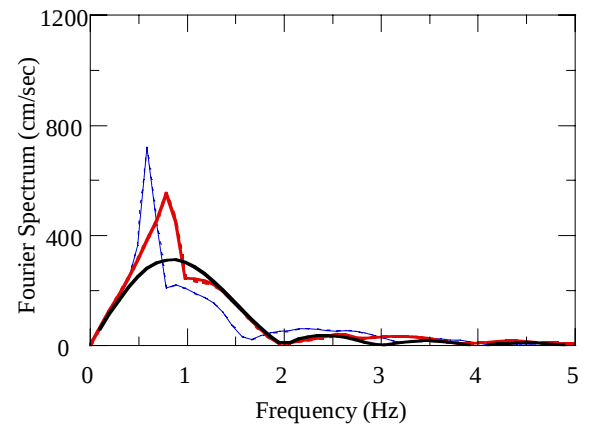
図3 アーチカルバート頂版における応答加速度の時刻歴

3. 解析結果 図3にアーチカルバート頂版上部におけるx方向応答加速度の時刻歴を示す。最大加速度は、Case-1から順番に670 gal, 656 gal, 955 gal, 971 galであり、構造物モデルより地盤モデルの差異による影響の方が顕著である。図4にアーチカルバート頂版上部と底版下10 mの地盤で発生する応答加速度のフーリエ解析結果を表す。Drucker-Prager modelで地盤をモデル化したケース(Case-1, 2)は、卓越周波数が0.59~0.68 Hzである。しかし、 t_{ij} -sand modelで地盤をモデル化するケース(Case-3, 4)は、卓越周波数が0.78~0.88 Hzであり、構造物の影響によらず入力地震波とほぼ同じ周波数で卓越し、 t_{ij} -sand modelは卓越周波数を正確に評価した結果となっていると考える。

図1に示すアーチカルバート脚部側の地盤要素Aと底版下10 mの地盤要素Bに発生するせん断ひずみ - 体積ひずみ, せん断ひずみ - せん断力関係を図5に示す。構造物と密着する地盤要素Aと構造物の影響からほぼ離れた地盤要素B, いずれも構造物モデル化による地盤挙動の差異が少ないため、本稿ではCase-2, 4のみを示す。 t_{ij} -sand modelを用いたCase-4ではDrucker-Prager modelを用いたCase-2より大きなせん断力が発生する。この原因として、弾完全塑性性と弾塑性性のモデル化の差異によって地盤応力差が生じることが考えられる。さらに、Case-4では、せん断力の変動によるせん断ひずみの変動が適切に表現でき、構造物両側における地盤の体積圧縮が発生し、構造物両側地盤の動的挙動を適切に表現できる。



(a) アーチカルバート頂版上部



(b) 底版下10 m

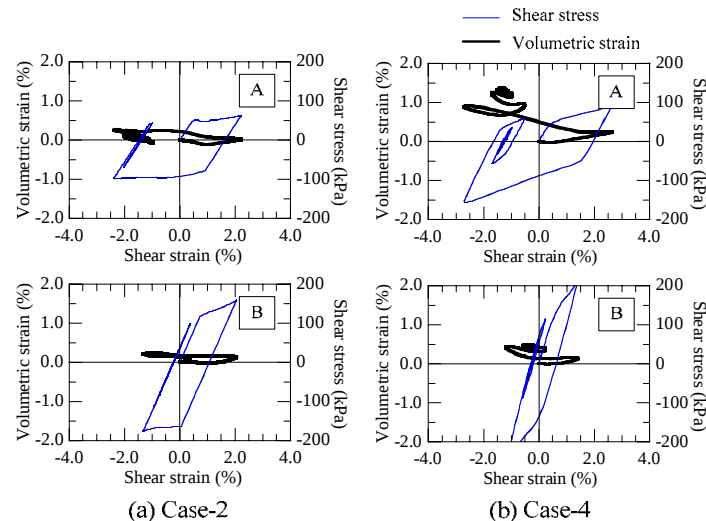


図5 せん断ひずみ - 体積ひずみ, せん断ひずみ - せん断力関係 (測定位置 A, B は図1に参照)

図4 フーリエスペクトルによる卓越周波数

4. まとめ 本稿では、地盤と構造物のモデル化差異がアーチカルバートを含む盛土構造の応答特性に及ぼす影響について数値解析により比較・検討を行った。応答特性の検討より地下構造物の動的挙動は地盤モデルの差異により大きく変化することが確認された。 t_{ij} -sand modelは、応答値の卓越周波数が入力波のそれと変動が小さい。今後は、地盤モデルと覆工モデルの差異による覆工断面力への影響について検討を行う必要がある。

参考文献 1) Nakai, T.: "An isotropic hardening elastoplastic model for sand considering the stress path dependency in three-dimensional stresses." *Soils and Foundations*, Vol.29, No.1, pp.119-137, 1989. 2) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編), 2002. 3) モジューラチ工法協会: Modularch 技術マニュアル, 2002. 4) Kimura, M. and Zhang, F.: Numerical prediction of the dynamic behaviors of RC group-pile foundation, *Soils and Foundations*, Vol.42, No.3, pp.72-92, 2002.