

1. はじめに

地盤の地震時液状化による流動化を考慮して道路橋の設計を行う時、流動力の算出方法には道路橋示方書による方法と地盤流動量を求め、応答変位法で算出する方法がある。道路橋示方書による方法は原則として橋脚基礎に適用されるもので、橋台基礎への適用に関しては曖昧になっている。一方、地盤流動量の算出には、二次元解析による静的FEM解析より算出するのが一般的である。しかし、二次元解析は護岸構造物のような帯状構造物に対する検討においては有効であるが、橋台背面盛土を対象とするような場合には流動量を過大に評価してしまう可能性がある。

本研究では、液状化が生じる地盤上の橋台に働く流動化の影響についてパラメータ解析により地盤流動量の三次元効果について検討した。

2. 解析概要

図-1 は三次元解析モデルを示したものである。地層は地表面から As1、Asc、Ac2-1、Ac2-2、As2 の水平な5層から構成され、As1 を液状化層とし、その上に盛土がある。盛土は、X方向幅は50.0m、Z方向（横断幅）の上面幅5.5m、のり面勾配1:1.8とした。表-1に盛土の解析モデル概要、図-2にモデル例を示す。

表-2に解析に用いた各層の物理定数を示す。液状化後の変形係数は液状化層(As1層)では初期値の1/100、盛土部は1/10に低減した。タイプⅠは、現在の設計指針による方法、タイプⅡは、その手法を三次元に適用したものである。タイプⅢは、液状化時の盛土崩壊の状況を加味し、滑りが発生する箇所の要素のみ剛性低下させている。さらにタイプⅣでは、As1層と盛土部との境界面も剛性低下させている。また、ポアソン比は液状化層のみを液状化前後で変化させた。

解析は液状化前・後の地盤の変形係数を用いた有限要素法による自重解析を行い、その相対変位量を流動化による地盤変位とする。解析ソフトは Mr. SOIL3D（株）CRC 総合研究所）を使用した。

表 3 に解析条件を示す。盛土高、液状化層厚、液状化層の初期変形係数の全組み合わせ（18 ケース）をパ

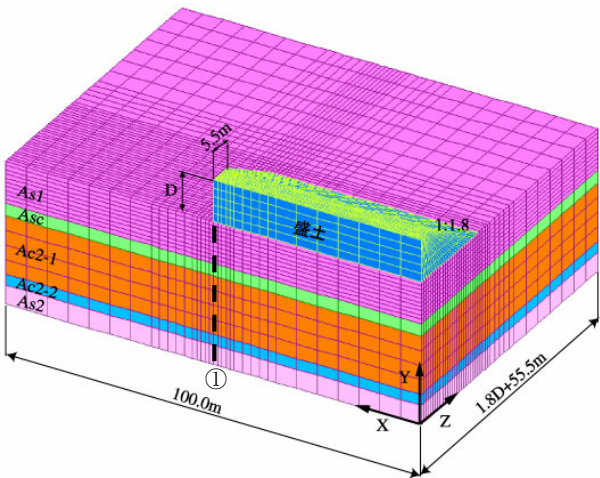


図-1 三次元解析モデル

表-1 解析モデル概要

タイプ	解析モデル	盛土のモデル
タイプⅠ	二次元	盛土の全ての要素を剛性低下
タイプⅡ	三次元	盛土の全ての要素を剛性低下
タイプⅢ	三次元	盛土の縦方向に半分の要素を剛性低下(図-2参照)
タイプⅣ	三次元	タイプⅢ+盛土とAs1層の境界の要素を剛性低下

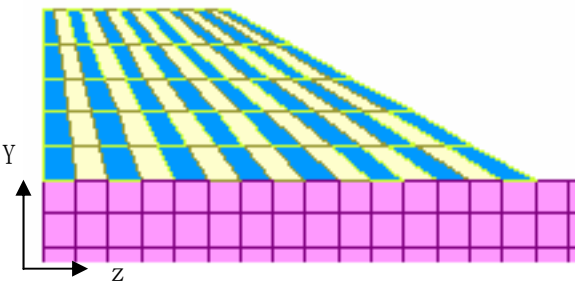


図-2 盛土部モデル（例：タイプⅢ）

表-2 各地層の物理定数

	層厚	γ	$\alpha \cdot E0$ (kN/m ²), ポアソン比	
	(m)	(kN/m ³)	液状化前	液状化後
盛土	D	18	80000, 0.33	8000, 0.33
As1	H	18.4	E, 0.33	E/100, 0.499
Asc	3	19.1	31000, 0.3	-
Ac2-1	14	17.2	25200, 0.3	-
Ac2-2	2.6	17.2	25200, 0.3	-
As2	4.6	19.1	84000, 0.3	-

ラメータとして解析を行った。

3. 解析結果

図-3 は盛土部前面位置（図 1_①の位置）における As1 層の X 方向の変位量の深度分布図を示したものである。最大変位量は、タイプ I が 1.87m、タイプ II が 1.55m、タイプ III と IV では、共に約 1.2m でモデルの違いによる差はなかった。タイプ I とタイプ II を比較すると、三次元効果によりタイプ II の最大変位量が約 17% 低下した。さらに、タイプ II と III、IV を比較した場合、タイプ III、IV は約 0.34m 小さくなり、最大変位量が約 20% 低下した。この要因としては、盛土部の剛性が大きく、As1 層の変形を拘束したためである。

図-4 は三次元効果と盛土の横断方向幅 B と液状化層厚 H の比の関係を示したものである。ここで、盛土の横断方向幅 B は、台形断面を等価な矩形断面に置き換えて算出した。また、昨年度提案した三次元効果の近似式 ($=1 - e^{-B/2H}$) も図示している。B/H が大きくなるにしたがって、三次元効果が小さくなり、盛土の横断方向幅が三次元効果に大きく影響することが分かる。今回の解析ケースでは二次元解析の 0.4~0.7 程度の流動量であった。また、液状化層 H=5.0m の解析結果と提案している近似式の間には大きな差がある。

図-5 は三次元解析結果 δx (タイプ IV) と (式 1) より算出した最大流動量の関係を示したものである。

$$\delta_{X(3D_推定値)} = 18.0 \times \left(\frac{E}{\gamma \cdot D} \times \frac{1}{H} \right)^{-0.95} \left(1 - e^{-\frac{B}{2H}} \right) \quad (式 1)$$

ここに、E : 初期変形係数 (kN/m²)
 γ : 盛土単位体積重量 (kN/m³)
H : 液状化層厚 (m) D : 盛土高 (m)

液状化層厚 H=5m のケースでは、最大地盤流動量の解析値に比べて推定値が大きく見積もっている。しかし、その他のケースでは比較的良く一致している。

4. まとめ

地震時液状化により橋台背面盛土が流動化した場合の地盤流動量の評価に関する検討を行った。今回、液状化時の盛土の滑りを表現できるモデルを提案し、従来のモデルとの比較を行った。その結果、従来の三次元モデルよりも提案したモデルのほうが、X 軸方向の最大変位量が小さくなることが分かった。これは、盛土部の剛性が大きく、As1 層の変形を拘束したためである。よって、三次元モデルは実現象に近いモデルにすることで、変位量を小さく出来ると考えられる。

表-3 解析条件

盛土高 D	(m)	5.0, 10.0
液状化層厚 H	(m)	5.0, 10.0, 15.0
初期変形係数 $\alpha \cdot E0$	(kN/m ²)	10000, 19000, 40000

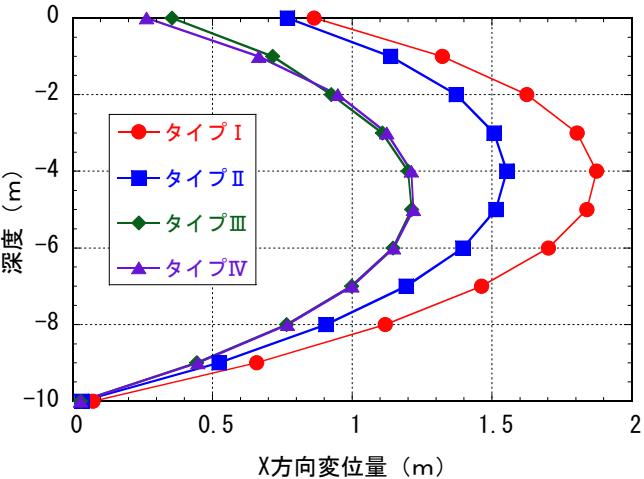


図-3 盛土部 X 軸方向の変位量

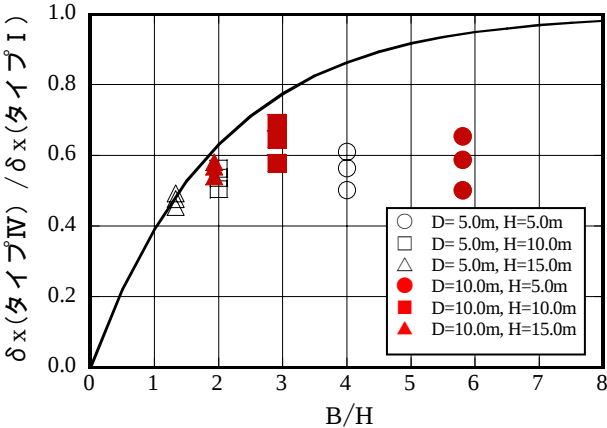


図-4 流動量の三次元効果の評価

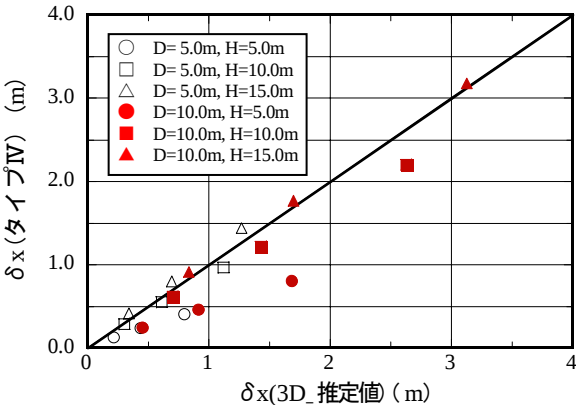


図-5 推定精度の検討

橋台背面盛土のように直角方向幅が有限長の場合には、三次元効果を考慮することで橋台基礎に対して経済的な設計が可能となる。