

I-648 実地震波入力時における地中ダクトの動土圧理論の検証

埼玉大学 工学部 正会員 谷山 尚
 埼玉大学 工学部 正会員 渡辺 啓行

はじめに

震度法に基づく地中構造物の耐震計算法の合理化のために、主要地震加重である動土圧を構造物と地盤との動的相互作用として正しく評価する必要がある。地中構造物の地震時挙動はかなり複雑であるが、力学的影響を与える主要因子は地盤歪や構造物と周辺地盤との相対変位であることが示唆されている。この相対変位を評価するため、渡辺・末広¹⁾では、地中ダクト物理モデルの振動実験及びFEM数値シミュレーションにより横方向動土圧の発生機構を説明する概念を得、渡辺・末広²⁾では、FEM解析により地中ダクトの横断面に作用する地震時動土圧の発生機構を解明した。要約すると、地盤が調和波入力に対して共振状態にある場合を前提に、① 地盤のみの場合に地中構造物上下板位置に作用するせん断力を T_U 、 T_L とすると、構造物がある場合に地盤から構造物に伝えられるせん断力は T_U 、 αT_L となる。即ち構造物が存在することで、下板位置だけが α 倍になる。 α は構造物がその剛性に応じて分担し得る荷重分担率である。② 構造物の見かけのせん断剛性率と地盤のせん断剛性率との比(β)と α の間に、 $\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 \text{LOG } \beta$ の関係がある。③ せん断力 T_U の内、構造物が自身の剛性で分担するのは αT_U で、残差は側壁に分布する動土圧の合計の一部 $P_1 = (1/2)(1 - \alpha)T_U$ と釣りあう。④ この動土圧成分は、任意位置の構造物の変位と同位置での地盤の変位との差に補正を加えた相対変位に比例する。但し、構造物の変位は下端単純支持条件で構造物上端に αT_U の外力を加えた場合、地盤の変位は構造物と同一入力に対する自由地盤での変位であり、補正は側壁にわたって積分した変位差の値が0になるようにする。⑤ ①の構造物に働くせん断力と、構造物の慣性力 F^* との差は動土圧の残りの部分 $P_2 = (1/2)[F^* + \alpha(T_U - T_L)]$ と釣り合い、動土圧の合力は、 $P = P_1 + P_2 = (1/2)[F^* + T_U - \alpha T_L]$ となる。⑥ 動土圧の予測値は、④と⑤の分布値の和で与えられる。渡辺³⁾では、上記結果を一般化し、⑦ 上記動土圧発生機構モデルに基づいて周辺地盤のエネルギーの停留条件から α の理論値を誘導し、 β が1に近い場合には②と同じ結果が得られることを示した。さらに④の比例定数が山原の半無限弾性体に対する正方形剛板分布載荷の地盤反力係数⁴⁾で表せることを示した。⑧ ダクト重心まわりのモーメントの数値実験の検討により地中ダクトに全周に作用する直土圧とせん断土圧の予測式を誘導した。さらに、渡辺・宮田⁵⁾において、⑨ β が1より小さい場合には α/β の値を修正することで地中ダクトの剛性の全領域にわたって理論を適用可能にした。

以上により地中ダクトの地震時動土圧理論が完成したわけであるが、これまでの議論は最も厳しい動土圧が発生する線形地盤の調和波入力に対する共振状態に対応したものである。実際の地震時の波形は決して規則正しいものではなく、調和入力が続いて定常的な共振状態になることは考えられない。そこで本研究では、実際の地震波形を入力波形とした場合にも上述した理論が適用可能であるか検証を行った。

数値実験

入力波形として El Centro(NS) (最大加速度を350galとした)及びTaft(EW) (同150gal)を用いて図1の数値モデルに対して動的FEM数値シミュレーションを行った。図1のモデルは実構造物を対象としたものであるが、要素分割については今までの結果と比較するために文献1)-3),5)で1/35のモデルに対して用いられたものと同じものを用いた。また、用いたパラメーターの値は表1の通りで、文献1)

Number of Nodal Point 94
 Number of Element 135

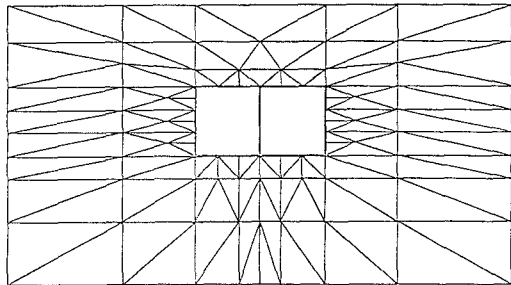


図-1 地中ダクト～地盤系のFEM数値モデル

中に示された値を用いたものと構造物の剛性だけを3倍にしたものの2つの場合について解析を行った。

図2に数値実験の結果と理論による予測値を示す。a図は数値実験の結果であり、構造物が最も変形していると考えられる、側壁の上端と下端の変位差が最大となった時の側壁直動土圧の深さ方向の分布を示す。実線はEl Centroを入力波形とした場合、点線はTaftを入力とした場合の結果を示しており、それぞれに表1に示した2つの場合(Case 1 $\beta=0.34$) (Case 2 $\beta=1.02$)の結果が示してある。b図は、入力波形を、それぞれの入力波形の最大加速度(350gal,150gal)を振幅に持つ調和波とし、共振状態を仮定した場合の予測値である。図より、いずれの場合においても予測値は解析値よりも大きすぎる値を与えていることがわかる。c図は、文献3)に基づき、入力波形を地盤の基本モードに対応する応答スペクトルを振幅に持つ調和波とした場合の結果である。この場合、構造物の剛性が地盤の剛性とほぼ同じ(Case 2 $\beta=1.02$) 場合については比較的妥当な予測値を与えているものの、構造物の剛性が小さい場合(Case 1 $\beta=0.34$) については予測値は大きくなりすぎる。d図は、入力波形に対応スペクトルを振幅に持つ調和波を仮定し、さらに文献5)に基づいた修正を施した場合の結果を示している。図よりこの場合にはいずれの場合にも予測値は解析値とよく一致しているのがみられる。

まとめ

文献1)-3),5)に示された地中ダクトの地震時動土圧理論が、調和波入力だけでなく実地震波形入力の時にも適用可能かどうかを検証した。その結果、入力波形としては地盤の基本モードに対応する応答スペクトルを振幅とする調和波を仮定し、文献5)に示された修正を施すことにより妥当な予測値が与えられることがわかった。

表1 数値実験に用いたパラメータ

Quantity	Case 1	Case 2	
Length Height Thickness (cm)	1080	1080	
	580	580	
	60	60	
R C	Density (g/cm ³)	2.4	2.4
	Young's Modulus (kgf/cm ²)	2.4x10 ⁵	7.2x10 ⁵
Soil	Depth of Layer(cm)	2310	2310
	Density (g/cm ³)	1.727	1.727
	Vs(m/sec)	200	200

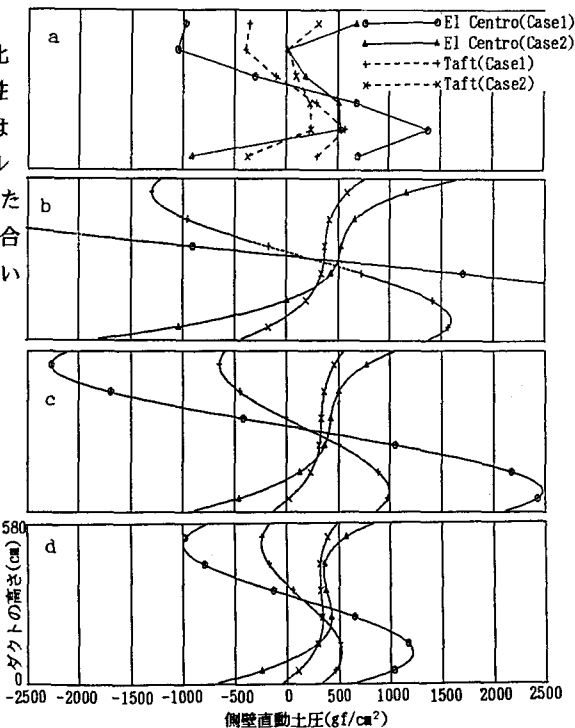


図2 側壁にかかる直動土圧の解析結果(a)と予測値(b-d)

引用文献

- 1) 渡辺・末広、地中ダクト側壁動土圧に関する実験的検討、土木学会論文集、No.432/I-16,1991
- 2) 渡辺・末広、数値実験による地中ダクトの動的直土圧の評価、土木学会論文集、No.432/I-16,1991
- 3) 渡辺、地中ダクトの地震時動土圧の理論、土木学会論文集、No.432/I-16,1991
- 4) 山原、動的解析における地盤の考え方、土と基礎、19-8(162),1971
- 5) 渡辺・宮田、地中ダクトの地震時動土圧理論のダクト剛性全領域への拡張、土木学会第46回年講