

PSⅢ-9 たわみ性埋設管の遠心実験実測土圧に対するFEM弾性解析

大阪市立大学 吉村 洋・東田 淳・三好忠和

まえがき これまでFEMを用いたたわみ性埋設管の土圧を解析した例は数多く報告されているが、これらの解析結果の妥当性は検証に用いるべき正確な土圧測定結果がなかったため、十分に判定できていないのが実情である。著者らはたわみ性埋設管に働く土圧を精度良く測定する手法を開発し、種々の要因を変化させた遠心実験^{1,2)}を行ってきた。今回の報告では、これらの実験に対するFEM弾性解析を行って測定土圧と対比した結果について述べる。なお、遠心実験では管の曲げ剛性を3通り、乾燥砂地盤の密度を2通りに変化させたが、今回の解析では、管はF管(たわみ性が大)とR管(たわみ性が小)の2通り、地盤密度は密な場合のみを対象とし、埋設方式は実験と同じ3通り(盛土型、素掘り溝型、矢板施工溝型)を扱った。

1. 計算方法

解析は、図-2(a)に示すメッシュを用いて平面ひずみ条件で行った。材料定数と境界条件は以下の通りである。

1) 土の材料定数 砂地盤の弾性係数 E_s とポアソン比 ν_s は、直方体の圧縮箱に詰めた乾燥砂供試体(12cm×12cm×高さ10cm)に軸圧縮応力 σ_x を段階的に载荷し、測定された K_0 条件下の側方応力 σ_y と軸ひずみ ϵ_x の値を、土を弾性体と仮定した時の次式： $\nu_s = (\sigma_y / \sigma_x) / (1 + \sigma_y / \sigma_x)$ 、

$E_s = (1 - \nu_s^2) / (1 - \nu_s) \cdot (\sigma_x / \epsilon_x)$ に代入して求めた。なお、圧縮箱内面にリュブリケーションを施した結果、供試体の上下端での σ_x の差は5%以内であった。図-1はこの試験で得られた σ_x と σ_y および E_s の関係で、 ν_s は σ_x によらず0.28と一定値が得られた。一方、 E_s は σ_x の増大につれて大きくなったので、計算では遠心実験における管側深度の土自重応力と等しい $\sigma_x (=0.6 \text{ kgf/cm}^2)$ における値、 90 kgf/cm^2 を選んだ。単位体積重量 γ_s は1G場の値の遠心加速度(30G)倍である $1.55 \times 30 \text{ gf/cm}^3$ を与えた。

2) 管の材料定数(表-1) 管の弾性定数 E_p 、 ν_p は模型管の材質(硬質アルミニウム)の値とし、 γ_p は模型管の単位体積重量の30倍を与えた。

3) 管と土との境界条件 管と土との境界にジョイント要素を挿入し、開口と滑り破壊を次のように考慮した。まず半径、接線方向の剛性 K_n 、 K_s としてそれぞれ 1000 kgf/cm^2 、 3 kgf/cm^2 を与えて計算し、引張り領域では開口条件($K_n = K_s = 0 \text{ kgf/cm}^2$)を与え、それ以外の領域では計算で得られたせん断応力が管面での摩擦抵抗応力を超えなくなるまで K_s を減減させて、収束するまで計算した。

4) 地盤側方の境界条件 各埋設方式に対して図-2に示す境界条件を与えた。すなわち、(a)盛土型で

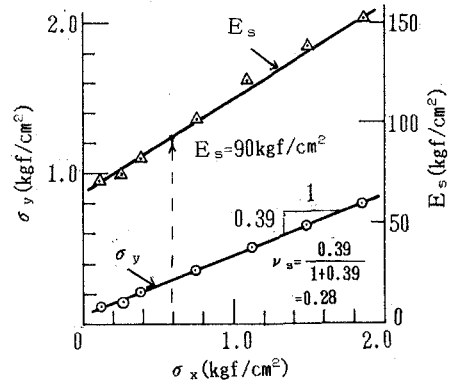
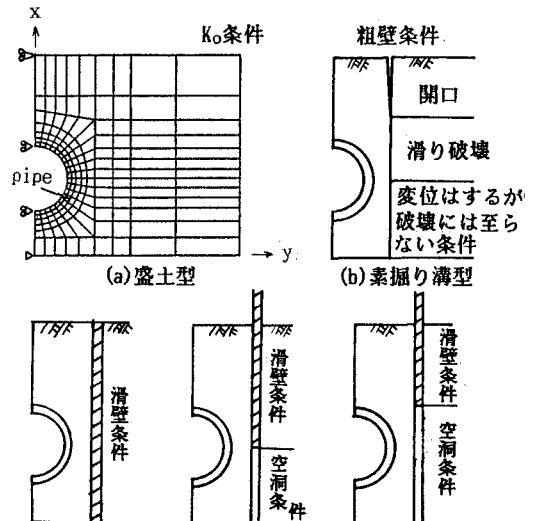


図-1 地盤材料の圧縮試験結果と弾性定数

表-1 管の材料定数

	外径(mm)	管厚(mm)	$E_p(\text{kgf/cm}^2)$	ν_p	$\gamma_p(\text{gf/cm}^3)$
F管	90	0.95	7.4×10^5	0.33	8.77×30
R管		3.5			3.72×30



①矢板引き抜き前 ②管側まで空洞条件 ③管頂まで空洞条件
(c) 矢板施工溝型

図-2 地盤側方の境界条件

は管から十分離れた $y=22.5\text{cm}$ の位置で K_0 条件、(b)素掘り溝型では溝壁の位置で、開口・摩擦抵抗・滑り破壊を考慮できる粗壁条件³⁾を与えた。また、(c)矢板施工溝型では、①の矢板引抜き前に対して、矢板の位置で滑壁条件(K_0 条件)を与えた。次に、矢板引抜き過程では矢板が抜け上がっていく過程をシミュレートして、地盤下端面から②管側深度まで、および③管頂深度までを空洞条件、それぞれの深度から地表面まで滑壁条件を与えた。

5)地盤下端面の境界条件 盛土型と素掘り溝型では固定条件、矢板施工溝型では滑動条件を与えた。なお、遠心実験の基礎砂厚 H_0 は4cmであったが、この H_0 では地盤下端面の境界条件の影響は小さかった。

2. 測定土圧、計算土圧の対比

盛土型と素掘り溝型の場合の土圧分布(垂直土圧 σ とせん断土圧 τ)を図-3、図-4に示す。各図の左側が測定土圧、右側が計算土圧である。また、各図の実線はF管、破線はR管の場合を表わす。どの場合も、 σ は計算の方が測定よりも全体に大きい、分布形は非常に良く似ている。また τ は計算、測定両者がかなり近似している。

図-5①～③は矢板施工溝型の場合の対比で、各図の右側に示した計算土圧はそれぞれ図-2の①、②、③に示した地盤側方の境界条件を与えた時のものである。各図の左側に示した測定土圧は、①が矢板引抜き前、②、③が引抜き矢板下端がそれぞれ管底、および管側を通過した時点のものである。F管、R管の場合とも、計算土圧は矢板引抜き過程の測定土圧分布の変化をよく説明できている。

あとがき 著者の一人は、剛な埋設管の遠心実験とFEM弾性解析の対比の結果に基づいて、剛な埋設管の土圧問題が従来考えられていたような極限釣合い問題ではなくて、弾性論で解釈すべき問題であることを既に明らかにした³⁾が、今回、たわみ性埋設管の測定、計算両土圧が良く対応したことから、たわみ性埋設管の土圧問題に対しても弾性論の適用が十分可能であることが確かめられた。

参考文献 1)東田他:3種類のたわみ性埋設管の遠心実験、第24回土質工学会、1989。 2)遠心模型によるたわみ性の大きな埋設管の土圧測定と精度、第25回土質工学会、1990。 3)遠心実験による剛性埋設管の実測土圧とFEM弾性解析、土木学会論文集、第406号/Ⅲ-11、1989。

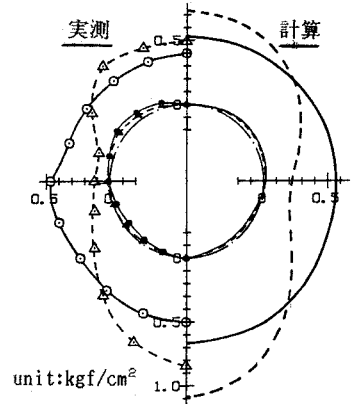


図-3 実測・計算土圧の比較(盛土型)

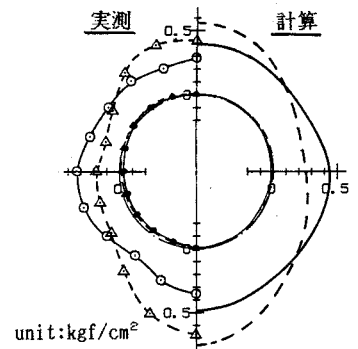


図-4 実測・計算土圧の比較(素掘り溝型)

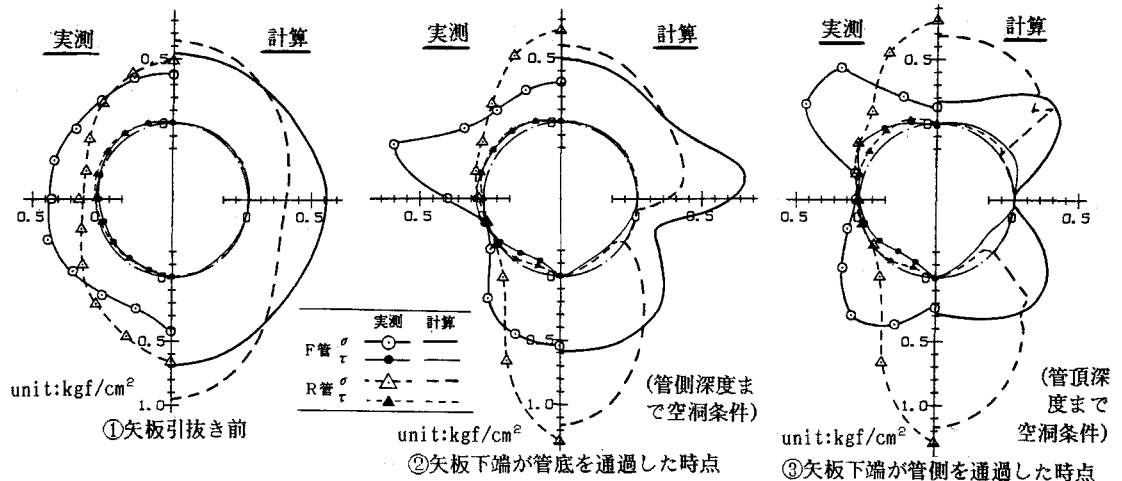


図-5 実測・計算土圧の比較(矢板施工溝型)