

名古屋工業大学

学生員

○岩田 靖

シ

正員

松岡 元

粒状体中のアーチ作用の実態を、光弾性材料の丸棒の積層体を用いて、床の一部を降下させる降下床の光弾性実験¹⁾を行ない確認するとともに、複合滑動面の概念に基づいた砂の構成式²⁾による有限要素解析結果と比較した。これより、アーチ作用のメカニズムについて考察する。

1. 降下床の光弾性実験

粒状体中に局部沈下が生じた場合の粒子間力の伝達状況を把握するため、光弾性材料の丸棒（長さ2cm、φ6mm、10mmの混合体、混合本数比4:1）の積層体（幅30cm、高さ20cm）を2次元地盤モデルとして、降下床（幅7.5cm）の光弾性実験を行なった。写真-1は上載荷重0.29kgf/cm²の下で、降下床をδ=4mmだけ降下させたときの光弾性縞写真である。これより、降下床上にアーチ状の粒子間力の伝達線が形成され、降下床の両側部で支えられるのがみられる。また、このアーチ状の粒子間力の伝達線は固定されたものではなく、降下量δの増加とともに粒子が移動し、刻々と変化するものである。なお、この状態でアーチの支点となっている降下床の両側部を降下させると、アーチ状の伝達線は崩壊し、中央の降下床に作用する荷重が急激に増加するのが観察された。¹⁾

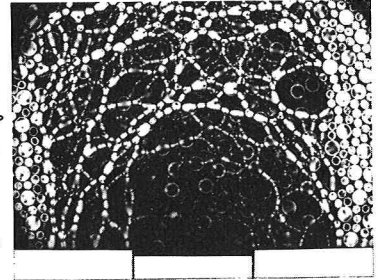


写真-1 降下床の光弾性実験

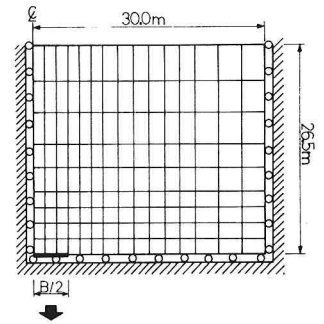


図-1 解析に用いたモデル地盤

2. 砂の構成式による降下床問題の有限要素解析

複合滑動面の概念に基づいた砂の構成式²⁾を用いて、境界値問題の1つとして、降下床の問題を有限要素法によって解析した。解析に用いたモデル地盤は、図-1に示すような平面ひずみ条件下の深さ26.5m、半幅30.0mの地盤とし、境界条件としては底面で水平方向のみ移動、両側面で鉛直方向のみ移動とした。なお、降下床は半幅(B/2)4.5mとし、その降下は下向きの強制変位として与えた。想定した地盤の試料は豊浦砂とし、解析に用いたパラメーターは次の通りである（詳細は文献2)参照）。

$\lambda = 1.2$, $\mu = 0.21$, $\mu' = 0.40$, $\nu_{0i} = 0.01\%$ (dense), 0.05% (medium), 0.10% (loose), $C_d = 0.07\%$, $\sigma_{mi} = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_c = 0.01$, $C_s = 0.003$, $e_0 = 0.68$, $K_0 = 0.5$, $c = 0 \text{ kgf/cm}^2$, $\phi = 40^\circ$ 。

なお、 ν_{0i} はせん断によるひずみの大きさを規定する1つのパラメーターであるが、以下の解析では ν_{0i} だけを変化させ、便宜上 $\nu_{0i} = 0.01\%$ のものを“dense”， 0.05% のものを“medium”， 0.10% のものを“loose”と呼ぶことにする。

図-2は、平均降下床土圧 $\bar{p}$ ～降下量δ関係の解析値を示したものである。同図より、わずかな変位で降下床土圧が急

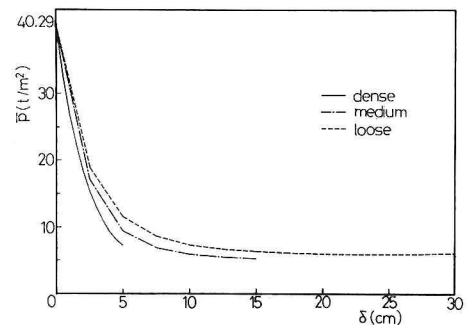


図-2 平均降下床土圧 $\bar{p}$ ～降下量δ関係の解析値

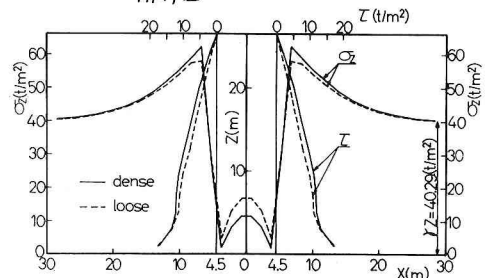


図-3 底面上の σ_x と $X=5.25\text{m}$ 上の σ_z の分布の解析値（ $\delta=5\text{cm}$ ）

激に減少するのがみられるが、降下床土圧の実測値も類似した傾向を示している。なお、村山・松岡は降下床土圧の算定式として次式を提案している。

$$P = P/BL = (0.43 \sim 0.62) \cdot \gamma \cdot B \quad (1)$$

ここに、 γ は地盤の単位体積重量、 B は降下床幅、 L は奥行き長さである。式(1)に $\gamma = 1.58 \text{ t/m}^3$ 、 $B = 9 \text{ m}$ を代入すれば $P = 6.1 \sim 8.8 \text{ t/m}^2$ を得るが、この値は図-2の解析値(最小値)に近い。

図-3は $\delta = 5 \text{ cm}$ における底面上の要素($Z = 1.0 \text{ m}$)の鉛直応力 σ_z の分布と降下床端から1つ外側の要素($X = 5.25 \text{ m}$)のせん断応力 τ の分布の解析値を示したものである。同図より、 σ_z が降下床の両側部で急激に増加することや降下床上でアーチ形の分布をすることがみられ興味深い。そこで、図-4はdense, medium, looseの場合について降下床上の σ_z の解析値を $\gamma = 1.58 \text{ t/m}^3$ で割って換算土被り高さ H の分布を求めた結果を示している。同図には、降下床と同じ沈下を考えると考えられる1次領域の範囲(実曲線)も示しているが、それらはほぼ対応しており興味深い。また、図-5には δ の増加に伴う鉛直応力 σ_z の変化を深さ Z に対して示している。これより、アーチ直上部付近の鉛直応力 σ_z も相当減少するが、ゼロにはならないがみられる。図-6は、 $\delta = 5 \text{ cm}$ におけるdenseな場合の最大・最小主応力の大きさと方向の解析結果を示している。同図より、最大圧縮主応力線が降下床上でアーチ状に伝わるのがみられる。また、図-7(a)(b)は、それぞれdenseとlooseの場合の $\delta = 5 \text{ cm}$ における等鉛直変位曲線の解析結果を示している。ともに、降下床上にアーチ形状の等鉛直変位曲線が得られる興味深い。

以上より、土の応力・ひずみ特性を正確に評価した構成式を用いた有限要素解析によれば、一般に「アーチ作用」と呼ばれている諸現象を解析することができた。ただし、本解析によれば図-5に示すように、アーチ直上でも鉛直応力が完全にはゼロとならないようである。

謝辞 光弾性実験装置をお貸しいただいた本学松浦聖教授、降下床底板をお貸しいただいた京大防災研柴田徹教授、有限要素解析について教えていただいた本学中井照夫助教授、光弾性実験に援助いただいた竹田一夫助手、藤井俊逸、中村尚両君に謝意を表します。

文献 1) 村山・松岡(1971):土木学会論文報告集, 第187号, PP. 95-108.

2) 松岡・香川・中井(1977):土木学会論文報告集, 第266号, PP. 95-105.

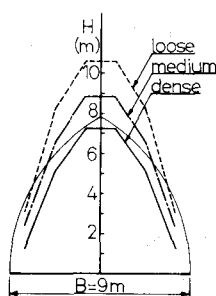


図-4 降下床上の換算土被り高さ($\delta = 5 \text{ cm}$)

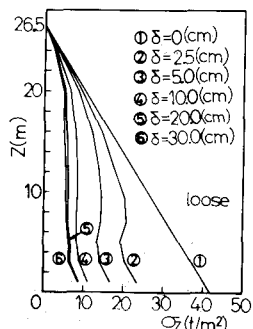


図-5 降下量 δ の増加に伴う中心線付近の鉛直応力 σ_z の変化

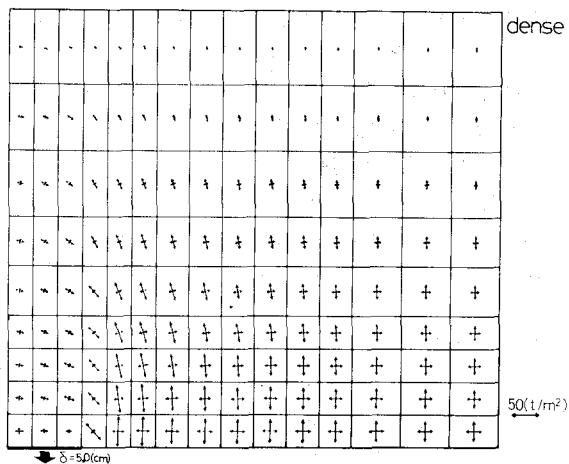


図-6 最大・最小主応力の大きさと方向の解析値 (dense, $\delta = 5 \text{ cm}$)

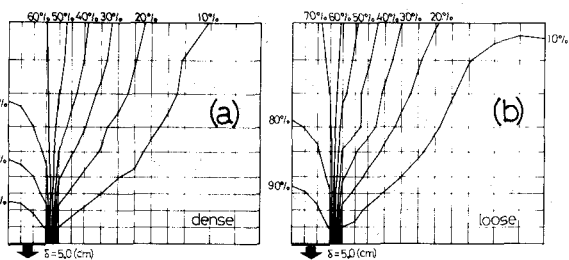


図-7 $\delta = 5 \text{ cm}$ における等鉛直変位曲線の解析値 (a) dense, (b) loose