

ケーソン工法の合理化に向けた施工方法の検討（その1）

～デジタル画像相関法を併用した1G場の模型実験～

鹿島建設(株) 正会員 ○田中恵祐 吉田 輝 坂梨利男 杜若善彦
正会員 大野進太郎 宇津野衛 市田 賢

1. はじめに

ケーソン工法（以下、当工法と記す）は、掘削機によって刃口下の地盤を掘削し、ケーソンを沈下させるという作業を繰り返して施工が行われる。当工法で施工を行う場合、現状ではケーソンの周面摩擦や先端支持力などを考慮した沈下関係図などを使って施工管理が行われている。しかし、実際の沈下メカニズムは解明されておらず、掘削箇所数や掘削深さ、一箇所当りの掘削量等は経験によるものが大きい。このことから沈下メカニズムを適切に把握できれば、より合理的な施工が可能になり、当工法の安全性および生産性向上にも繋がることが期待される。

筆者らは、沈下メカニズムの解明と最適な施工方法を把握するために数値解析と模型実験を行っており、当工法適用時の掘削ノモグラムの整備を目指して開発を進めている。本報では、沈下メカニズムを把握することを目的として実施した、デジタル画像相関法（DIC: Digital Image Correlation）¹⁾を併用した1G場の模型実験結果について報告する。

2. 模型実験概要

模型実験装置を図-1に示す。実験では、アクリル土槽内に最適含水比に調整した試料を比較的硬い地盤を想定し、 $1E_c$ の締固め度100%程度となるように20mm/層×6層で締め固めて模型地盤を作製した。刃口よりも外側の地盤への影響は小さいと思われるため、模型地盤は土槽中央部の300mmの範囲のみとし、それ以外はコンクリートとした。ケーソン模型は弊社が施工する現場で使用するものと同様の形状とし、縮尺は土槽との関係から約1/84とした。実験は、掘削深さと土質の影響を把握するため、表-1に示す3ケースを実施した。地盤材料は混合土（砂と粘土を乾燥重量比8:2で混合）とセメント改良土（砂にセメントを 80kg/m^3 添加）を用いた。ケーソン模型を静的に平面ひずみ条件で地盤内に変位制御で貫入し、荷重と貫入量の関係を取得した。また、貫入過程を定点カメラで連続的に撮影し、DICで地盤内の変位やひずみを算出した。

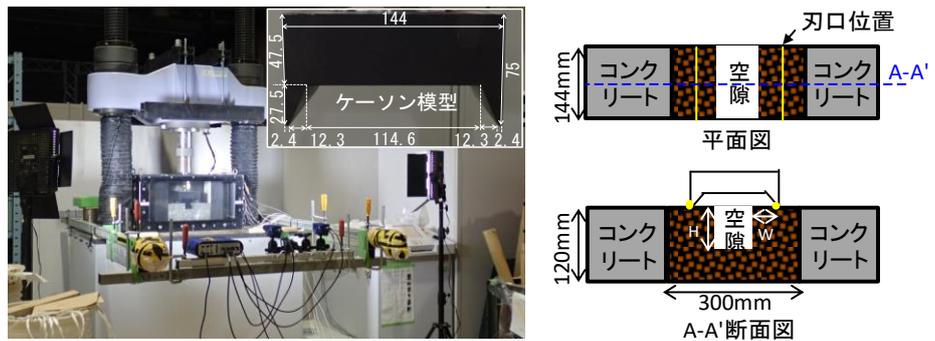


図-1 模型実験装置

3. 模型実験結果

荷重-貫入量関係を図-2に示す。また、破壊時のDICから得られた最大せん断ひずみと体積ひずみ分布を図-3に示す。模型実験は線対称モデルとして実施したため、図-3は模型の半分の領域、かつ荷重が最初にピークとなった（図-2中の矢印箇所）時の結果である。

3.1 掘削深さの影響（Case1とCase2の比較）

Case1は荷重 0.41kN/m^2 、貫入量 3.8mm 、Case2は荷重 0.23kN/m^2 、

表-1 実験ケース

Case	土質	一軸圧縮強さ q_u (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	粘着力 c (kN/m^2)	空隙サイズ (mm)	
					H	W
1	混合土	118	35.4	34	40	40
2					80	40
3	セメント改良土	286	46.6	76	40	40

キーワード：ケーソン工法、模型実験、デジタル画像相関法

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6486

貫入量 3.9mm で地盤が破壊した。破壊時の変位は同程度であるが、荷重は Case1 の方が約 2 倍大きな値であった。このことから、実施工時は掘削深さが深い方がケーソンは沈下しやすいと考えられる。破壊後は荷重がわずかに低下するが、载荷が進行すると徐々に荷重は上昇する傾向を示した。これは、貫入に伴うケーソン模型と地盤の摩擦による影響と考えられる。

Case2 の場合のすべり面の入射角をテルツァギーの支持力理論と比較した結果を表-2 に示す。内部摩擦角 ϕ は三軸圧縮試験から得られた値を使用した。模型実験から得られたすべり面の入射角は支持力理論に基づいて算出した角度と概ね一致した。

3.2 土質の影響 (Case1 と Case3 の比較)

Case3 は荷重 1.35kN、変位 1.7mm で破壊し、Case1 と比較して、脆性的な破壊挙動を示した。模型実験と同材齢の供試体を対象に一軸圧縮試験および三軸圧縮試験を実施したが、そちらも同様の傾向を示した。このことから、硬質地盤ほど沈下に必要となる開口率が大きくなり、急激な沈下が発生する可能性が高くなると考えられる。また、Case3 と比較して Case1 でひずみが生じる領域が広い。これは、Case1 で貫入量が大きく、地盤の固結度も低いため、ケーソン模型貫入に伴う地盤の変位量が大きいためと考えられる。

4. おわりに

今回、ケーソンの沈下メカニズムを把握することを目的に、掘削深さと土質に着目して模型実験を実施した。その結果、掘削深さが深い方が破壊時の荷重が小さく、実施工時にはケーソンが沈下しやすいと考えられる。また、硬質地盤は脆性的な破壊挙動を示し、実施工時にはケーソンを沈下させるための開口率が大きくなり、掘削に時間を要するとともに急激な沈下が発生する可能性が高くなると考えられる。

現在、模型実験の再現解析を通じて、数値解析モデルの妥当性検証を行っている。解析モデルの妥当性確認後は、掘削箇所数や掘削深さ、一箇所当りの掘削量、土質などをパラメータとして解析を行っていき、当工法適用時の掘削ノモグラムの整備を進める予定である。これらの検討内容については、今後報告する予定である。

参考文献

- 1) P.J. Withers: Strain measurement by digital image correlation, Strain, Vol. 44, Np.6, pp.421~422, 2008.

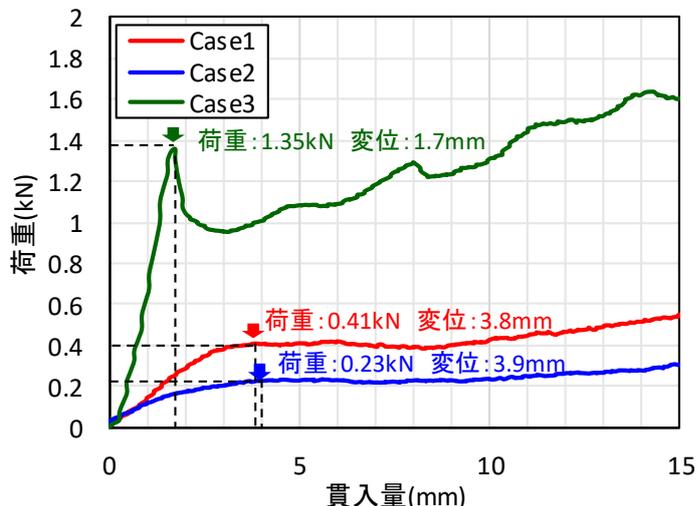


図-2 荷重-貫入量関係

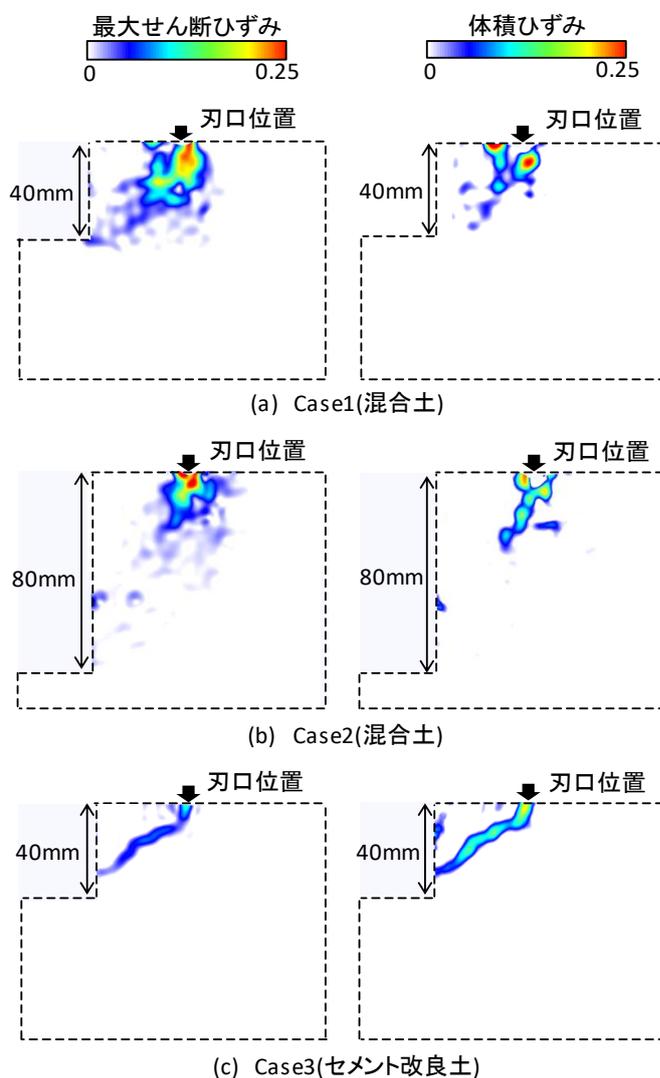


図-3 ピーク荷重時のひずみ分布

表-2 すべり面の入射角の比較

支持力理論 (主動破壊角)	模型実験 (Case2)
$\theta = 45^\circ + \phi/2 = 62.7^\circ$	$\theta_1 = 61.4^\circ$