

ケーソン沈設に伴う土留工事の施工管理

Construction control of Retaining
Wall at the Sinking of Caisson

佐藤工業株式会社 ○古屋 和夫

佐藤工業株式会社 伊東 良浩

by Kazuo FURUYA and Yoshihiro ITO

本報告は、交通量の多い4車線道路の中央部に土留杭を打設し、その後路下にニューマチックケーソン工法にてシールドの立坑を築造する工事において、施工管理として実施したケーソン沈設に伴う土留構造の挙動計測の結果について述べるものである。

本工事では、掘削対象地盤が非常に軟弱であり、立坑付近にはガス管や水道管等の埋設管が多数存在することから、ケーソン沈設初期のケーソンの揺動や急激沈下、土留壁根入れ部の支持力の低下等による土留構造の安定性および周辺構造物への影響などが懸念された。このため、土留壁根入れ部の地盤強度を補強するとともに、施工中の土留構造および周辺地盤・構造物の挙動の計測により、工事の安全管理および施工管理を実施した。

これらの結果、周辺構造物へ悪影響を与えることもなく、土留工事およびケーソン築造工事を安全に施工することができた。

キーワード：土留，路下ケーソン，計測

1. はじめに

最近、ニューマチックケーソン工法が各種土木工事において採用されるようになってきた。今回報告する工事は、交通量の多い4車線道路の中央部に土留杭を打設し全面覆工を行った後、GL-10mを施工基盤として路下にニューマチックケーソン工法にてシールドの中間立坑を築造する工事である。この中間立坑付近にはガス管や水道管等の埋設管が多数存在しており、掘削によるこれらへの影響を最少限に抑える必要があった。また、対象地盤が非常に軟弱なシルト層であり、ケーソン沈設初期のケーソンの揺動や急激沈下、土留壁根入れ部の支持力の低下などが懸念された。

このため、土留壁根入れ部の地盤強度を補強するとともに、施工中の土留構造および周辺地盤・構造物の挙動の計測により、工事の安全管理および施工管理を実施した。

2. 工事概要および地質概要

本工事は、道路の中央部に土留杭を打設し全面覆工を行なった後、GL-10mを施工基盤として路下にニューマチックケーソン工法にてシールドの中間立坑を築造する工事である。ケーソン躯体は縦14m、横11m、沈設深度は約GL-34mであり、7ロットに分けて築造される。掘削は、図-1、2に示すように平面17.10m X 14.10m、深度GL-10.0mである。土留は、ソイルセメント地下連続壁（φ600mm、 $\ell=19m$ 、芯材H-350 ピッチ450mm）を用いている。土留欠損部および土留壁先端部はコラムジェットグラウトにより補強した。また、ケーソン沈設初期の急激沈下の防止のためケミコパイルを施工した。

本工事付近の地質は、地表より埋土、N値5～30の細砂層、N値1のシルト層、N値3～10のシルト層、N値30～50以上のシルト混じり細砂層からなる。

3. 事前解析

本工事では、ケーソン沈設に伴って土留壁の根入れ部の軟弱シルト層が弛められ、土留構造および周辺構造物への悪影響が懸念された。このため、施工中の計測管理に供するため、ケーソン沈設に伴う周辺地盤への影響を考慮する解析を行なった。

解析手法は、土留設計に用いられる弾塑性法を用いた。地盤の物性値は、既往の調査結果等を考慮し、ケーソン沈設に伴う改良地盤の物性値（粘着力）

を25%低減した。また、未改良地盤については、地盤の鋭敏比の高いことを考慮して、現地盤の物性値を50%低減した。

4. 計測内容

(1) 計測目的

当工事において実施した計測は、(i) 土留掘削時およびケーソン沈設時における施工および周辺構造物の安全性の把握、(ii) 今後の路下式ケーソン施工

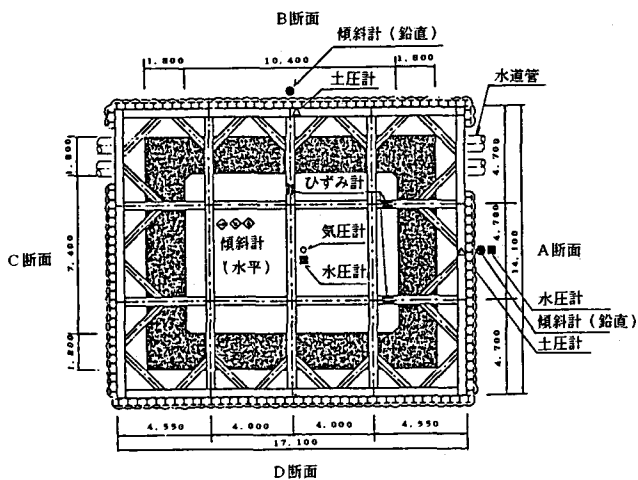


図-1 平面図

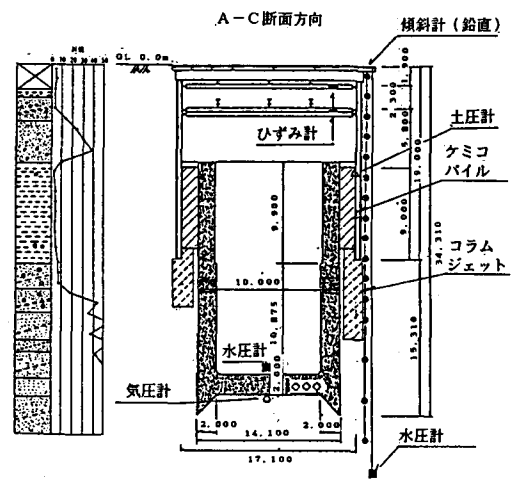


図-2 断面図

表-1 計測内容・計測機器

測定項目	測定計器	計器名	仕様	数量	備考
壁面変位	固定式傾斜計	GC-300*	±300分 1.5%F.S.	16点×2断面	A, B断面 2~4mピッチ
切梁軸力	プロテクタゲージ	GE-10*	0~10kg/cm ² 1.5%F.S.	6点	1段、2段切梁、各3点
土圧	土圧計			2点	B, D断面
土留杭沈下	レベル			4点	A, B, C, D断面
ケーソン沈設深度	レベル			1箇所	
傾斜	傾斜計	DC-60*	±60分 1.0%F.S.	3点	A-C, B-D断面及び45度方向
偏心					
作業気圧	気圧計	GP-5*	0~5kg/cm ² 1.0%F.S.	3点	作業室、マンロック、マテリアルロック
水荷重	水圧計	GP-5*	0~5kg/cm ² 1.0%F.S.	1点	
周辺構造物					
ガス管沈下	沈下棒			4点	
水道管沈下	レベル			4点	
周辺地盤沈下	レベル			71点	
その他					
温度	温度計	RT-100*	-10~80℃ 1.0%F.S.	1点	土留内部気温
地下水位	水圧計	GP-5*	0~5kg/cm ² 1.0%F.S.	1点	深度TP-40.2m (GL.-38.1m)

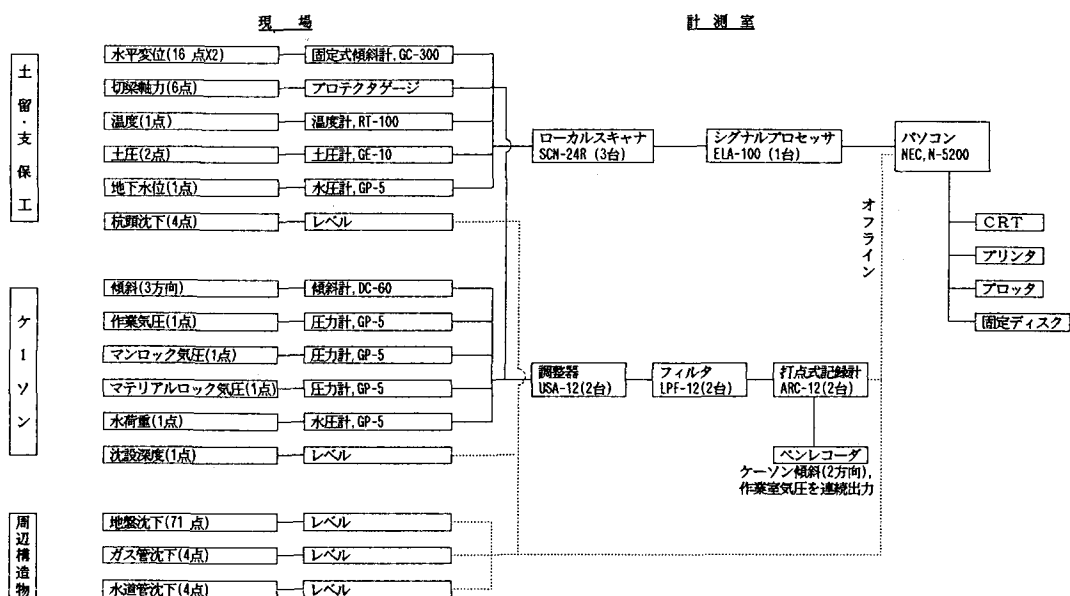


図-3 計測システム図

のための技術的な資料の収集・蓄積、を目的としている。

(2) 計測内容・計測機器

本計測の計測内容・計測機器は、表-1のとおりである。また、計測機器の配置は、図-1, 2のとおりである。

(3) 計測システム

計測システムを図-3に示す。

本計測では、長期的に数時間間隔の連続計測・記録を行なう土留構造の計測と、動的な挙動を示すケーソン沈設時の計測があり、それらの状況に対応できるシステムとした。

5. 計測結果

(1) 土留壁面変位

A、B両断面の壁面変位図を図-4に示す。

A、B両断面とも、全体的に深度GL-10.0mの土留掘削底付近で最大変位を生じ、壁頭部は背面側に戻る挙動を示している。さらに、ケーソンの沈設深度

が深くなるにつれて、杭根入れ部の変位が増大し、A断面では34.9mm、B断面では84.2mmの最大変位が生じている。

特に、ケーソンの刃先が、A断面では杭先端部付近 (GL -20 m)、B断面ではコラムジェット改良体下端部付近 (GL -25 m) をそれぞれ通過したときに、急激に変位が増大する傾向がみられる。

(2) 土留杭頭部沈下

第2ロット沈設後から沈下し始め、地盤改良下部を通過した第6ロット沈設時に沈下量が増大した。最終沈下量は、14mm～21mmであった。

(3) 切梁軸力

各切梁に発生した軸応力は、最大でも約 491kg/cm²であり、許容応力をかなり下回っている。また、ケーソン沈設時においても、ケーソン沈設時の動的な挙動による影響は少なかったと考えられる。

(4) 土圧

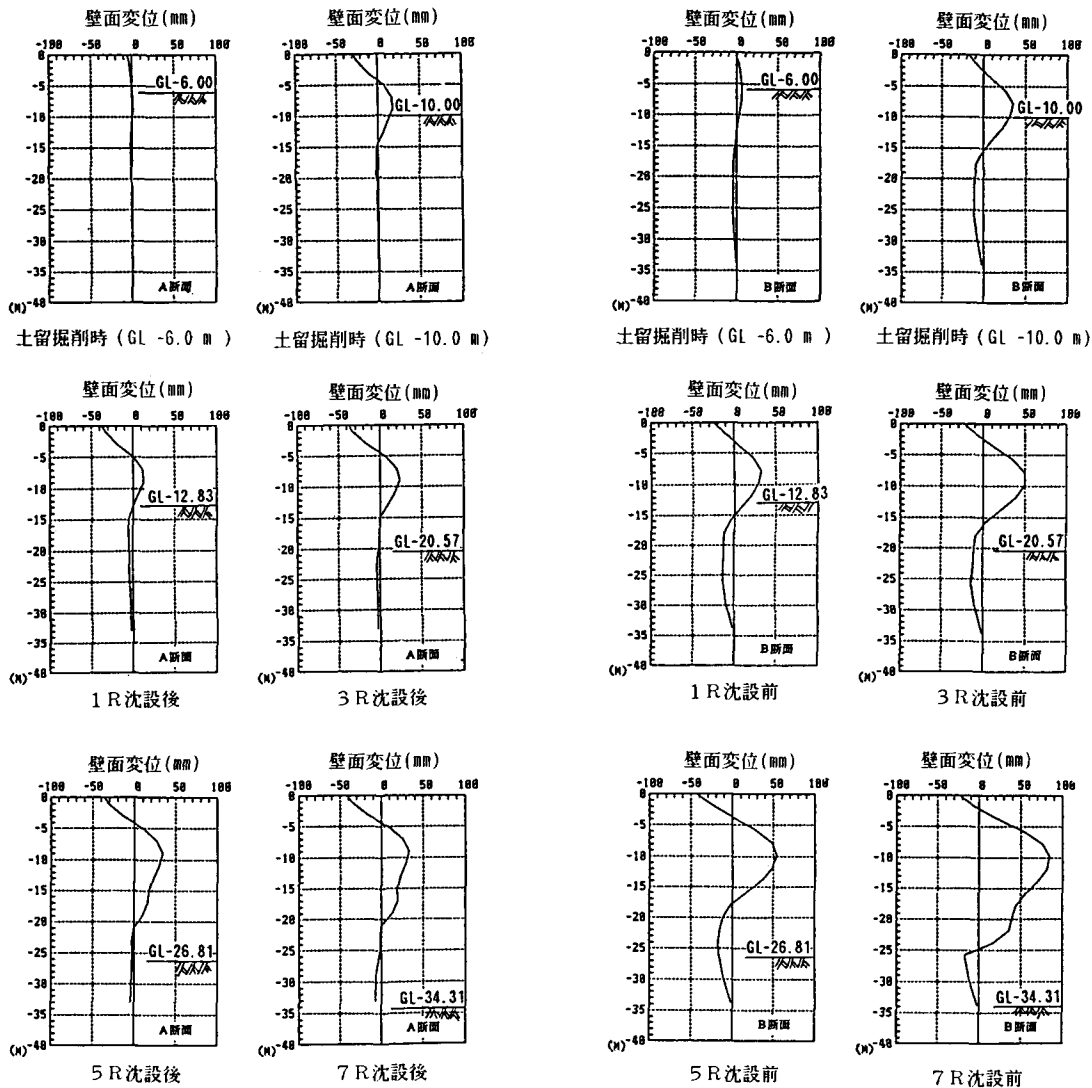
土留掘削完了後に掘削地盤下1mの位置の土留壁に設置した土圧計の測定結果によると、沈設初期に

ケーソンの揺動によると思われる土圧の変化が若干認められるが、大きな土圧の発生は認められなかった。

目視による観察では、土留壁とケーソンの間の土がケーソン沈設に伴ない連れ込み沈下を生じ、かなり緩んだ状態であったことが確認されており、このため、土留壁やケーソンの変位にかかわらず、大きな土圧が発生していなかったものと考えられる。

(5) 地下水位

土留掘削からケーソン沈設完了までの地下水位の大きな変動は、見られなかった。ただ、ケーソン刃先がコラムジェット改良域下端を通過した直後には、圧気圧の影響と考えられる若干の地下水位の変化が認められた。



(1) A 断面

(2) B 断面

図-4 壁面変位図

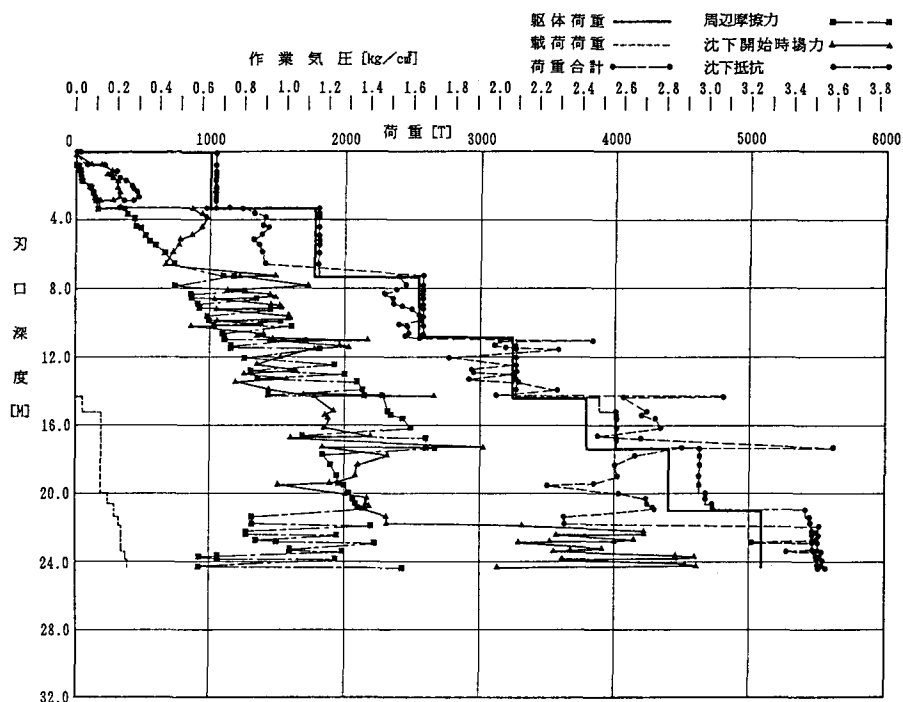


図-5 沈下関係図

(6) ガス管および水道管の沈下

ガス管および水道管は、土留壁の挙動とほぼ連動する挙動を示したが、最終的にはいずれも安全な範囲に収まった。

(7) ケーソン作業室圧気圧

沈下関係図を図-5に示す。

沈設開始当初の第1、第2ロット沈設時は、沈下量が少ない為に圧気圧を大きく取ることができず周面摩擦力も期待できないため、沈下抵抗は刃口抵抗に頼ることになり、かなり不安定な状態であった。第3ロットの沈設時以降は荷重と沈下抵抗がバランスし、比較的安定的な状態となり沈設を完了している。

(8) ケーソン躯体の傾斜

ケーソン躯体の傾斜変位図を、図-6に示す。

掘削深度約5mまではケーソンの揺動がかなり生じているが、深度が増すにつれて次第に安定した状態になり、沈下完了後はA-C断面方向で約10mm、B-D断面方向で約25mmと精度よく設置することが

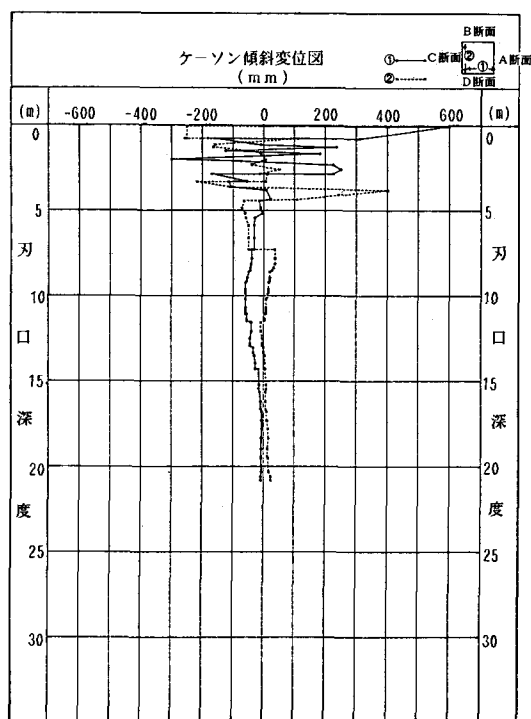


図-6 ケーソン傾斜変位図

できた。

また、沈設深度は、最終沈設完了時においておよそ30mmの誤差であった。

6. 計測結果の検討

(1) 事前解析結果との比較

ケーソン沈設完了時のA, B両断面の変位の実測値と、事前解析結果との比較図を、図-7に示す。

A断面における壁面変位量は、地盤改良による強度がケーソンの沈設にかかわらず低下しないと仮定した場合に比べさらに小さい変位となっている。

B断面では、最大変位の発生している深度G1-10.0m付近(土留掘削底)で、地盤強度低減率25%の場合より少ない変形量を示している。

これらの結果より、事前解析において仮定した地

盤強度の低減率はほぼ適当であったと考えられる。

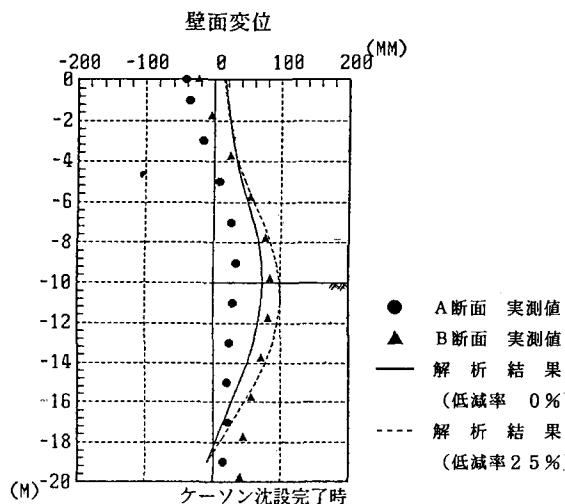
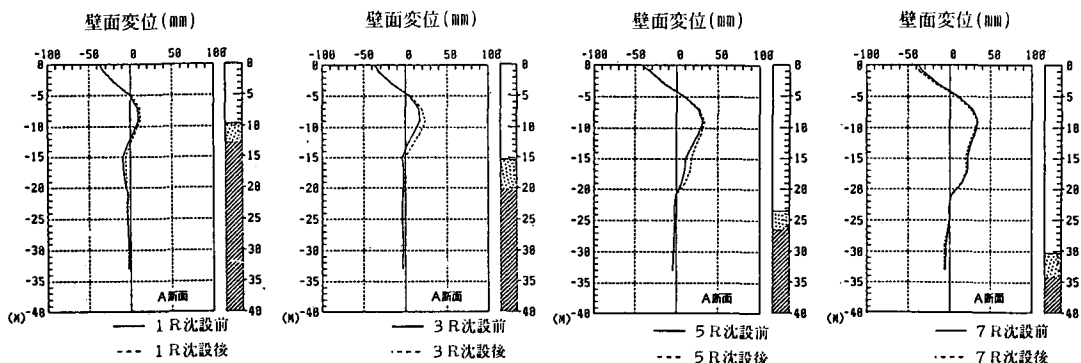
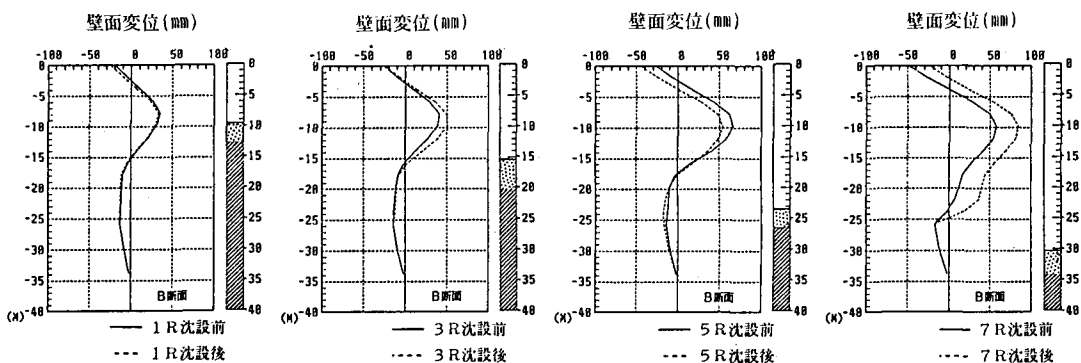


図-7 事前解析結果と計測結果との比較



(1) A断面



(2) B断面

図-8 ケーソン沈設前後の土留壁の変位分布

(2) ケーソン沈設時の土留壁への影響

a) ケーソンの各ロット沈設前後の壁面分布を図-8に示す。

A断面では、第1、2ロット沈設時には壁面変位はほとんど生じていないが、第3ロット沈設時以降は土留壁下端より変位が生じていることがわかる。また、土留壁上部については、切梁支保工により固定されているために、変位はほとんど増加していない。

B断面では、ケーソン刃先がコラムジェット改良域を通過した直後に、ほぼその地点及びそれ以浅において20～30mm掘削側に変位していることがわかる。

b) 土留掘削底 (GL-10.0m) での土留壁水平変位とケーソン躯体頭部の水平変位の計測結果より、土留壁およびケーソンの両者の間隔の変動が大きく、両者間の地盤はかなり緩められた状態になっていたものと考えられる。

(3) ケーソン沈設時の周面摩擦力

ケーソンの沈下は、ケーソンの自重および水荷重等の沈下荷重、地盤の沈下抵抗、圧気圧による揚力によって支配される。すなわち、掘削により刃口抵抗が減少し、それに伴って増加する周面摩擦力がその限界値を越え、力の釣り合いの均衡が破れたときに沈下が生ずる。

第7ロット沈設時の沈設開始から新たな刃口抵抗の発生までの区間において、推定した地盤とケーソン躯体の表面摩擦力について以下に述べる。

第7ロット沈設時における周面摩擦力の推定結果を図-9に示す。

これより、推定した周面摩擦力は最大で約1.98 t/m²である。これは、既報告の値に較べやや小さい値となっている。

その原因としては、土留壁が周囲の土圧を分担したためケーソン躯体への土圧の作用が軽減されたこと、および作業室より洩れた空気がケーソンと土留壁との間を通過し地表面へ噴出することにより地盤が緩められたことが考えられる。

周面摩擦力推移推定図

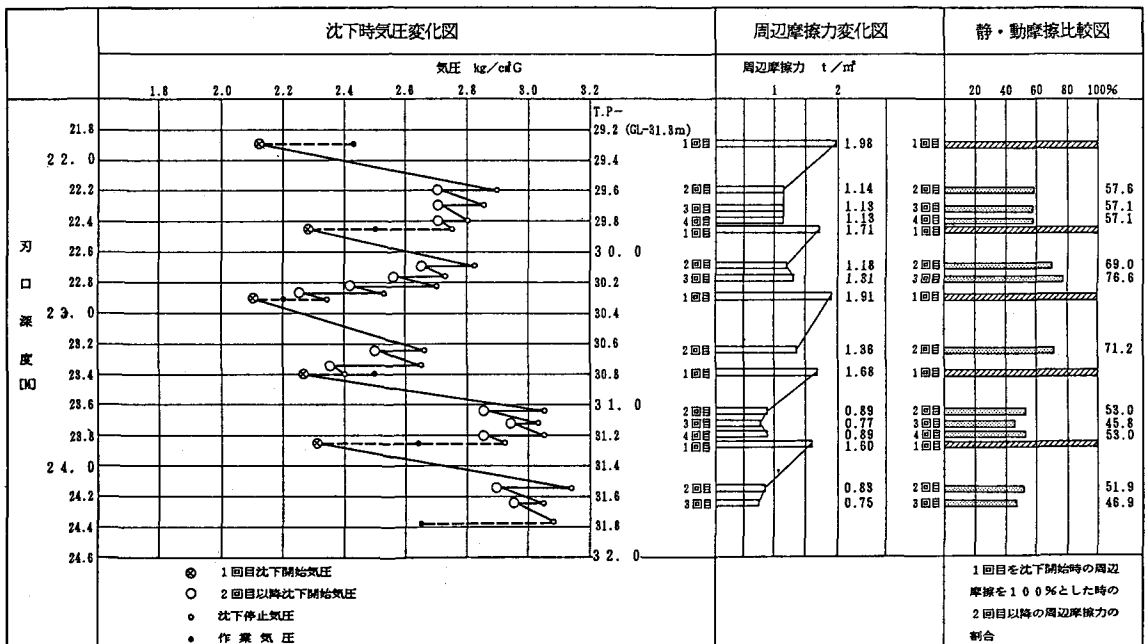


図-9 周面摩擦力推定図

また、同図より、同時点の沈下において、1回目の沈下始動時の気圧が2回目以降の始動時の気圧に較べ小さいことがわかる。これは、1回目の沈下始動時では、壁面と地盤との間の吸着を振り切るため、2回目以降の始動時より大きく減圧する必要があるためと考えられる。

7. あとがき

本工事では、以上のような計測管理を実施することにより、周辺重要構造物に悪影響を与えることもなく、土留工事およびケーソン築造工事を安全に施工することができた。

今回の計測の結果より、次のような知見を得ることができた。

(1) ケーソン沈設とともに、土留壁の水平変位が増大し、およそ土留掘削底付近において最大変位が発生している。また、ケーソンの沈設深度が深くなるにつれ、杭根入れ部の変位が増大する傾向がみられた。これは、ケーソン沈設により、土留壁とケーソン躯体との間の土留壁根入れ部の地盤が弛められたためと考えられる。

(2) ケーソンの揺動による土留壁への影響は顕著には認められなかった。これは、沈設開始直後ではケーソンがやや大きく揺動したが、刃先深度5m以深ではケーソンはほとんど安定した状態であったためと考えられる。

(3) ケーソンの周辺摩擦力は、推定結果によると、およそ2t/m²であり、一般的な値よりやや小さい値であった。これは、土留壁が側圧の一部を分担したため、ケーソンへの土圧が軽減されたことによるものと考えられる。

以上の事項は今回の計測により得られたことであるが、より合理的な設計・施工を行なうことができるように、今後とも引き続き研究を進めていく考えである。