

スパイラル PC タンクの開発

技術本部 開発技術部 奥山和俊
技術本部 開発技術部 吉松慎哉

概要:PC タンクは、従来より配水池施設、貯水施設として利用されている構造物である。この PC タンクにおいて従来工法と比較して経済面、施工性に優れた新しい PC タンクであるスパイラル PC タンクを開発を実施している。このスパイラル PC タンクは PC コンファインド工法の応用であり、タンク側壁にプレグラウト PC 鋼材をスパイラル状に配置し、双動ジャッキにて緊張を行うものである。本報告では、スパイラル PC タンクの構造概要、設計手法、ならびに施工性の確認試験について述べるものである。

Key Words: PC タンク, スパイラル, プレグラウト PC 鋼材, 双動ジャッキ

1. はじめに

プレストレストコンクリート製の円筒型容器構造物である PC タンクは、従来より上水道用の配水池施設、農業用水の貯水施設として利用されている構造物である。近年この PC タンクは様々な技術が開発、導入され、これらの技術を用いた実施工例も年々、増加の傾向にある。また、最近の建設業界においては建設コストの削減、省力化が命題であり、PC タンクも例外ではなく、早急にこの課題に取り組む必要がある。そこで、従来工法と比較して経済面、施工性に優れた独自の新しい PC タンクであるスパイラル PC タンクを開発を実施している。

このスパイラル PC タンクは橋脚補強工法である PC コンファインド工法の応用技術という位置づけであり、PC コンファインドの技術を多数適用していることが特徴となっている。従来工法の PC タンクにおいて側壁円周方向の PC 鋼材配置をスパイラル状に連続的に配置することが主な変更箇所であり、したがって基礎、底版、屋根等の部材や側壁鉛直方向の PC 鋼材は従来工法と同様の構造形式としている。また従来工法では側壁円周方向の PC 鋼材はピラスター部によって緊張定着を行うが、スパイラル PC タンクは PC コンファインド工法と同様に緊張用の切り欠き部を設け、そこで緊張定着を行う手法としている。そのため、この切り欠き部を後埋め処理することにより、タンクの外観をピラスターのないすっきりとした外観にすることが可能となる。

また、PC 鋼材をスパイラル状に連続的に配置し、双動ジャッキを用いて緊張するので定着具の数が格段に減少させることができる。さらに PC 鋼材としてプレグラウト鋼材を使用するので、グラウト工の省略が可能であり、従来の PC タンクに比べて経済的に優れた構造物となる。

本報告では、このスパイラル PC タンクの構造概要、設計手法、ならびに施工性の確認試験について述べる。

2. 構造概要

(1) 外観形状

図-1 にスパイラル PC タンク工法と従来工法の断面図および平面図を示す。内面形状は全く同様であるが、外観形状はスパイラル PC タンク工法の場合、ピラスターが無い事が特徴である。また、構造上は必要ないが、景観上のアクセントとしてピラスターを設けることも十分に可能であり、自由な景観形状に対応する事ができる。その他の部材である底版、屋根、歩廊部等の形状は従来工法と比較して違いは無い。



奥山和俊



吉松慎哉

(2) 円周方向 PC 鋼材の配置

図-2 に円周方向 PC 鋼材の配置概念図を示す。従来工法は各段毎にハチマキ状に PC 鋼材を配置し、位相をずらしてピラスター部で定着する配置となっている。これに対しスパイラル PC タンクでは基本的には PC 鋼材をスパイラル状に下段より連続的に配置する。これにより定着部の数量を大幅に減少させることができる。

(3) プレグラウト PC 鋼材

スパイラル PC タンクは円周方向の PC 鋼材にプレグラウトの PC 鋼材を使用することとしている。これは、PC タンクの場合、角変化が非常に大きくこのため摩擦による緊張力のロスが高い値となってしまう。したがって、これを解決するために摩擦係数の小さいプレグラウト鋼材を使用し、効率的にプレストレスを導入することが目的である。

通常の PC 鋼より線とプレグラウト PC 鋼より線の摩擦係数の比較を表-1 に示す。設計に当たってはこの数値を使用して設計を行ってよい。プレグラウト PC 鋼材の摩擦係数は各鋼材メーカーより出されている技術資料などの数値を参考として決定したものであり、その値は試験により確かめられている。

また、プレグラウト PC 鋼材はグラウト工を省略できるので、作業の省力化および経済性の向上をはかる事が可能となる。

現在使用できる鋼材種類としては、PC コンファインド工法で使用する双動ジャッキを用いるため、ジャッキ能力の関係からシングルストランド 1S12.4 ~ 1S19.3 とする。

(4) 側壁断面の鋼材配置

側壁断面の鋼材配置を図-3 に示す。

側壁内側については従来工法と同様に縦横方向に鉄筋を配置する。外側については基本的には鉄筋を排除し、円周方向 PC 鋼材を可能な限り外側に配置する。これは緊張用ピットの切り欠き深さを浅くして断面欠損を少なくすることが目的である。また外側の鉄筋をなくすことでプレグラウト PC 鋼材の配置作業性も向上する。

通常の PC タンクであれば設計上では外側の鉄筋は必要なく、内側鉄筋のみで応力的には満足する場合が多い。外側鉄筋については実構造物においてはコンクリートの温度変化やクリ

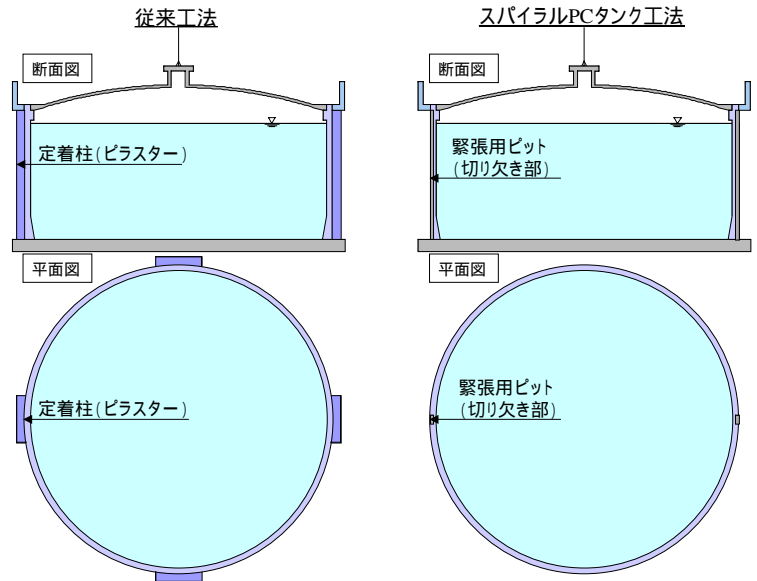


図-1 構造概要

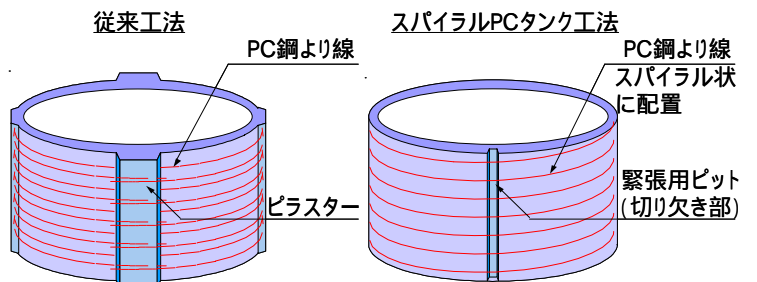


図-2 PC 鋼より線の配置

表-1 PC 鋼材の摩擦係数

PC鋼材の種類	長さ1m当たりの摩擦係数 (1/m)	角変化1ラジアン当たりの摩擦係数 μ (1/rad)
普通鋼材	0.004	0.3
プレグラウトPC鋼材	0.003	0.1

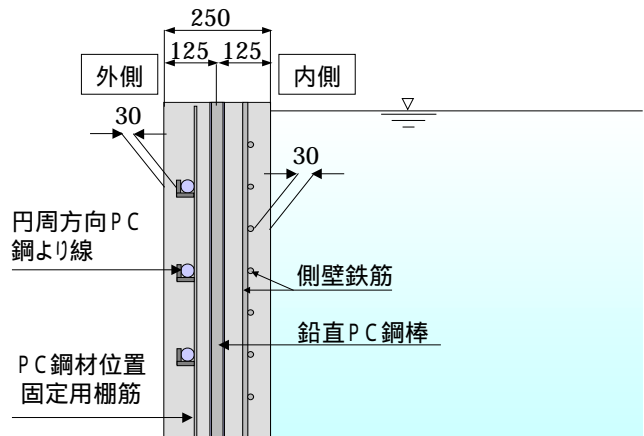


図-3 側壁断面の鋼材配置

ープ、乾燥収縮等のひび割れに対する用心鉄筋としての役割が強いが、これについては円周方向にPC鋼材が配置され、また、鉛直方向は鋼材保持用の棚筋が配置されているのでこれらで十分ひび割れ抑制効果を見込めるものと考えられる。

(5) プレグラウトPC鋼材の配置

通常、プレグラウトPC鋼材はドラムに巻かれた状態で現場に搬入される。このPC鋼材を円筒型に連続して配置するためにはドラムからPC鋼材を引き出しながら配置する方法では困難である。そこで図-4に示す様に内足場の上部にPC鋼材供給機を設置し、この供給機を円周方向に回転させながら上部よりPC鋼材を垂らす様に配置作業を行う。これにより、配線作業を確実かつ安全に行うことが可能である。

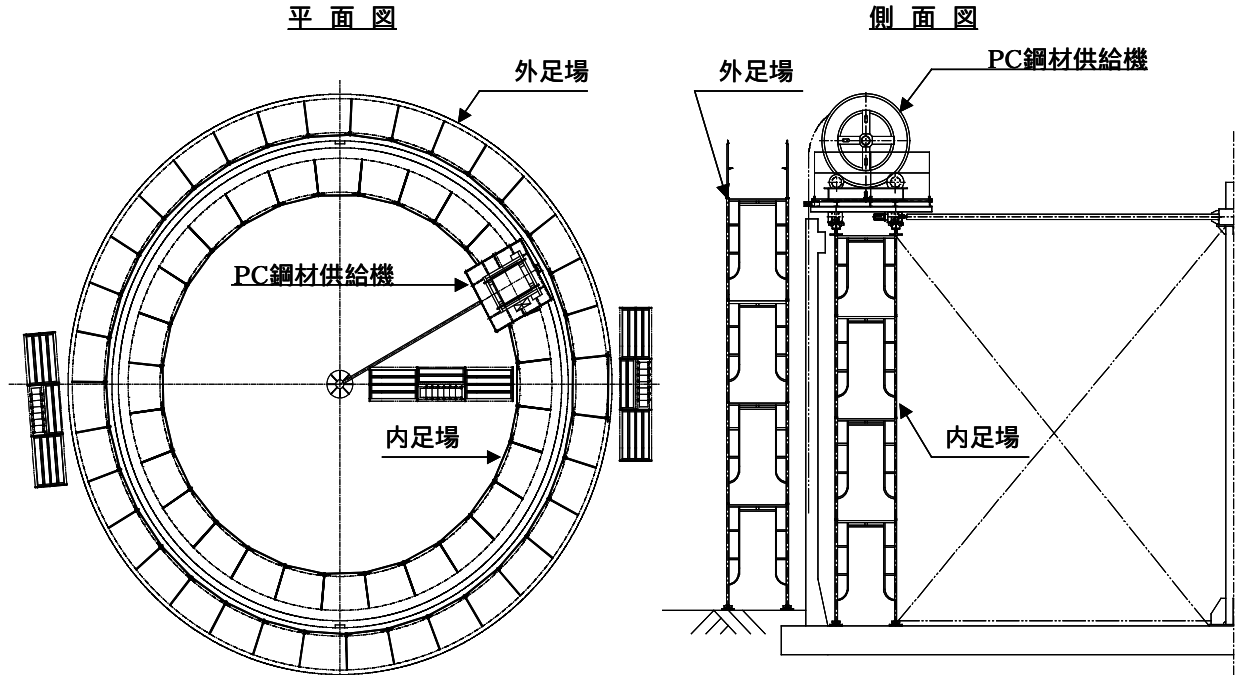


図-4 PC鋼材配線施工図

(6) 円周方向PC鋼材の緊張定着方法

図-5にPC鋼材の緊張定着方法を示す。

緊張はPCコンファインド工法と同様に複数の双動ジャッキを用いて側壁下段より順次緊張を行う。

定着については緊張用ピット(切り欠き部)よりある程度の距離をはなれた位置に定着用切り欠き部を設ける。双動ジャッキにて緊張後、通常のスリーブ、ウェッジで定着を行う。また必要な場合には、切り欠き部に曲がりラムチャ付のジャッキをセットして緊張を行うことも可能である。なお、支圧板については「側壁断面の鋼材配置」で記述した様に、可能な限りPC鋼材を外側に配置することから、規定のかぶりに抵触しない超高強度モルタル製支圧板を使用する。(技報第2号、「超高強度モルタル製支圧板の開発」参照)

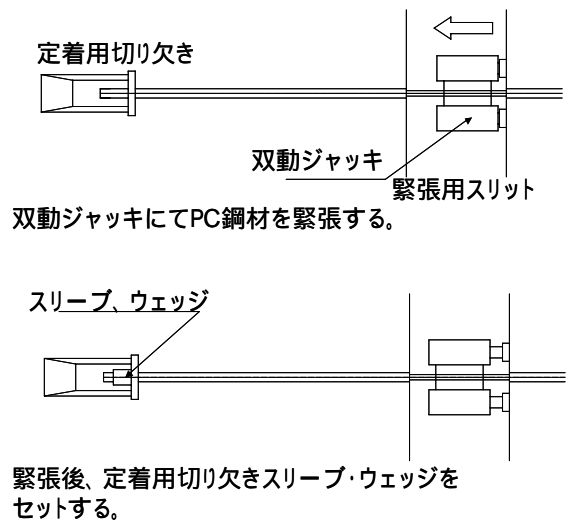


図-5 PC鋼材の緊張定着方法

3. 円周方向PC鋼材の種類による構造比較

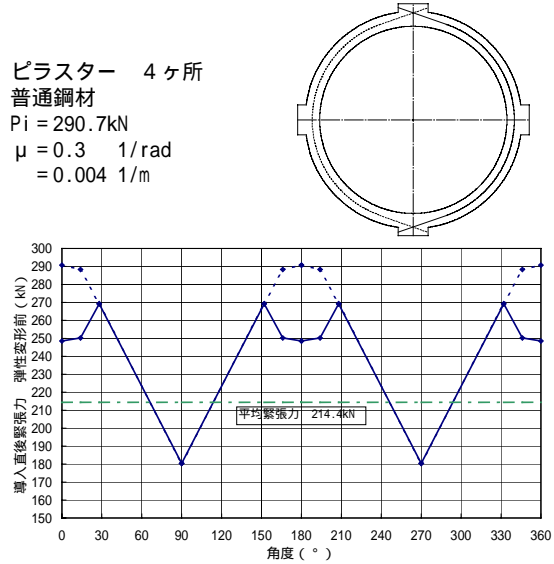
従来工法のPCタンクでは円周方向のPC鋼材は各段毎に配置の位相をずらし、そのため緊張力が平均化されて均等になるようにしている。

これに対し、スパイラル PC タンクでは位相をずらす事ができず、円周方向の PC 鋼材の緊張固定位置は側壁の下部から上部まで同じ位置であるため、緊張力が平均化されない。そこで、摩擦損失後の緊張力分布のうち、もっとも低い緊張力を導入直後緊張力とし、この値を用いて設計を行うものとする。

そこで従来工法、スパイラル PC タンク工法の普通鋼材、スパイラル PC タンクのプレグラウト鋼材とした場合の試設計を試みた。表-2 に対象としたタンク寸法を示す。また、計算結果を図-6~8 に示す。

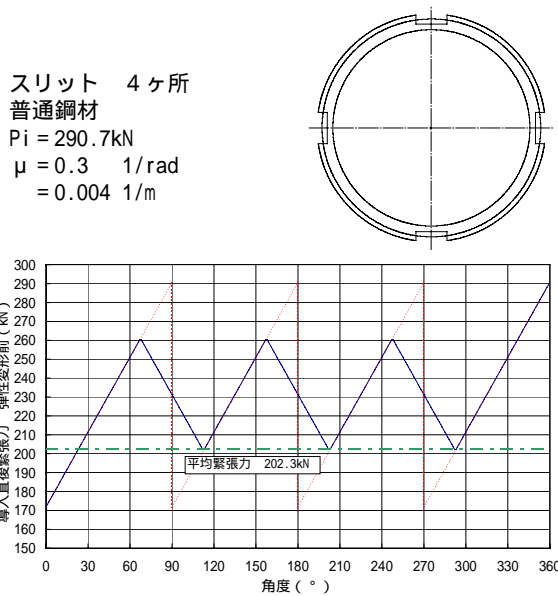
表-2 試設計の構造寸法

タンク容量	1500 m ³
タンク内径	17.000 m
有効水深	7.000 m
側壁厚	0.250 m



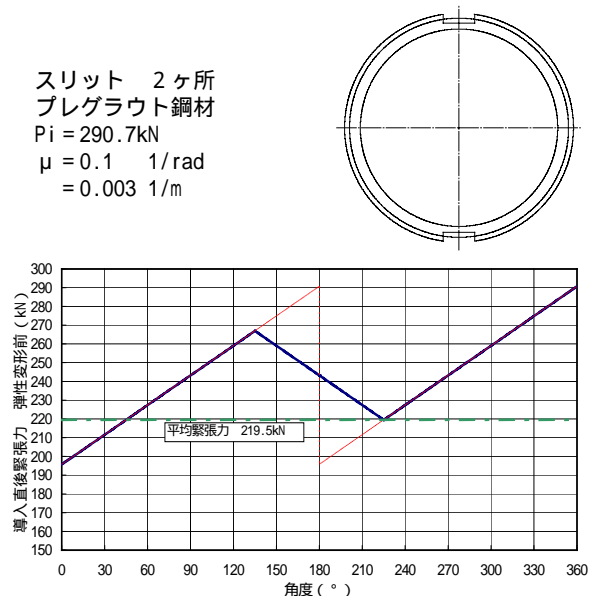
水深 (m)	Fi (kN)	Fi/Pi (段)	N (段)
(ドームリング)	814.1	2.8	(3)
-0.15~1.60	862.5	3.0	3
1.60~3.40	1321.7	4.5	5
3.40~5.20	1762.5	6.1	7
5.20~7.00	2345.0	8.1	9

図-6 従来工法試設計結果



水深 (m)	Fi (kN)	Fi/Pi (段)	N (段)
(ドームリング)	726.5	2.5	(3)
-0.15~1.60	935.7	3.2	4
1.60~3.40	1434.0	4.8	5
3.40~5.20	1912.2	6.5	7
5.20~7.00	2544.3	8.6	9

図-7 スパイラル - 普通鋼材試設計結果



水深 (m)	Fi (kN)	Fi/Pi (段)	N (段)
(ドームリング)	717.8	2.3	(3)
-0.15~1.60	922.6	2.9	3
1.60~3.40	1413.9	4.4	5
3.40~5.20	1885.4	5.9	6
5.20~7.00	2508.6	7.9	8

図-8 スパイラル - プレグラウト鋼材試設計結果

計算結果よりスパイラル - 普通鋼材使用では、緊張力が平均化されないため、従来工法よりもプレストレスが低下し、鋼材本数が増加するため、コスト縮減につながらない結果となる。したがって摩擦係数の低いプレグラウトPC鋼材を使用し、従来工法と同程度か若干多めにプレストレスを導入することをスパイラルPCタンクの前提条件とした。

4. FEMによる検討

スパイラルPCタンクの緊張方法は緊張箇所において側壁を切り欠き、緊張用のピットを設けてPCコンファインド用の双動ジャッキを用いて緊張作業を行う方法である。

この緊張用ピットは、通常厚さが壁厚 250mm の側壁を切り欠くため、断面欠損ならびに隅角部が生じてしまう問題があり、これらの箇所では応力集中が生じる事が予想される。図-9に検討箇所を示す。

そこで、FEM解析により緊張時のピット周辺の応力状態を確認することとした。

図-10に解析モデルを示す。モデルはピット部において円周方向に1440mm高さ1800mmの寸法で切り出した形状とし、切り欠き部中心に緊張力である350kNを集中荷重として載荷した。

図-11,12に解析結果を示す。半径方向である x は最大で 25N/mm² の応力が発生しているが応力分布の面積を計算して力として表すと 12.6kN となる。また円周方向である y でも同様に 25N/mm² 程度の応力が生じているが、力としては 17.6kN となる。したがって緊張用ピット周囲の SD295, D10 程度の鉄筋を補強筋として配置すれば十分であるという結果となった。

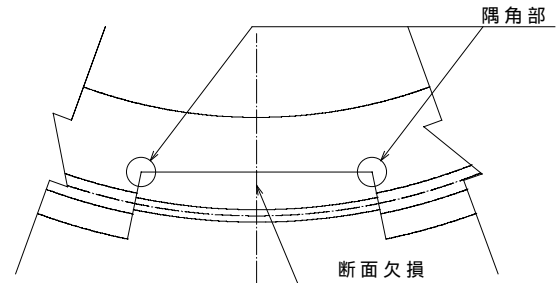


図-9 FEM検討箇所

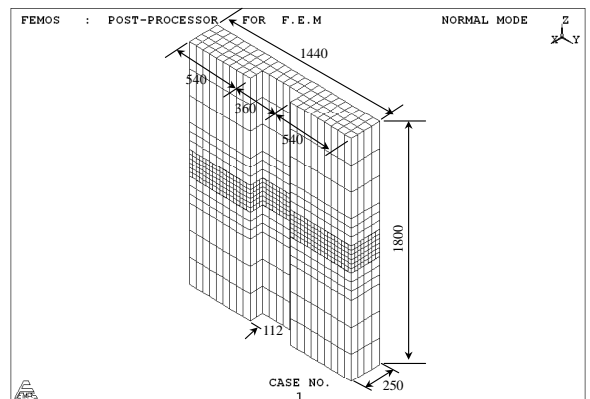


図-10 解析モデル

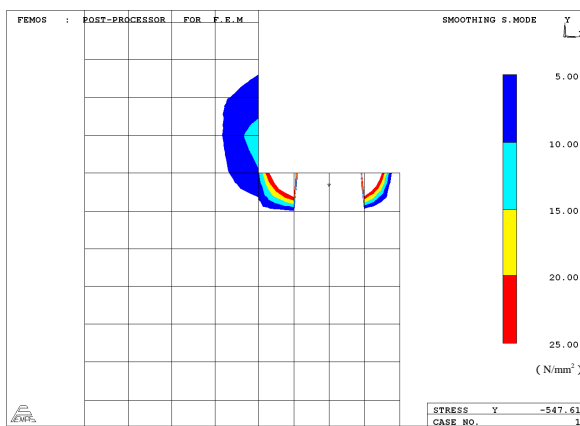


図-11 解析結果 (x)

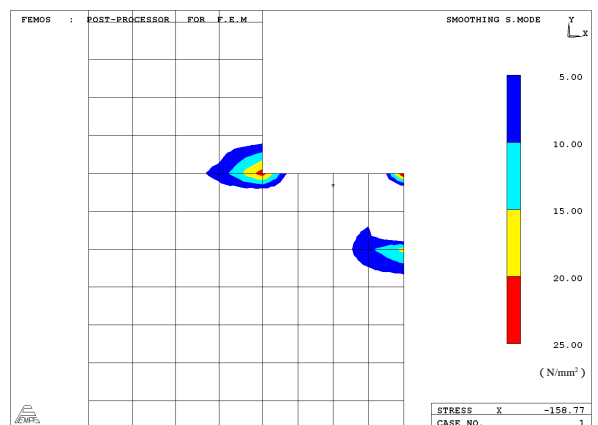


図-12 解析結果 (y)

5. 施工性確認試験

(1) 試験目的

スパイラルPCタンクはPCコンファインド工法の応用技術であり、緊張定着作業は基本的にPCコンファインド工法と同様の施工手順としている。しかし、PCコンファインド工法はPC鋼材が主に人力にて後挿入される事に対し、スパイラルPCタンクはプレグラウト鋼材を使用し、PC鋼材が先設置される点が大きく異なる。そのため、スパイラルPCタンクの方が鋼材余長が極端に長く、この余長部分が緊張時に抵抗し、所定の緊張力が導入されない事が懸念される。

本試験はスパイラルPCタンク工法の基本技術であるスパイラル状に配置されたPC鋼材に所定の緊張力が導入す

ることができるかを試験体を用いた試験により確認するものである。そのために、直径 2m の円筒形中空部材を製作し、これを用いて実際にプレグラウト鋼材を配線し緊張作業を行い、プレストレスの導入量を確認し、実施工への適用性を照査することを目的とする。

(2) 試験概要

試験体は PRC ウェル製作時に使用した型枠を用いて外径 2m、高さ 1.8m の試験体を製作した。

試験体にはあらかじめプレグラウト PC 鋼材を配置し、緊張用のピット(切り欠き部)を設けてある。この切り欠き部において PC コンファインド用の双動ジャッキを用いて PC 鋼材を緊張し、所定の緊張力が導入されることを計測し、確認する。図-13 に試験体の概要図を写真-1 に試験体写真および写真-2 に双動ジャッキを示す。

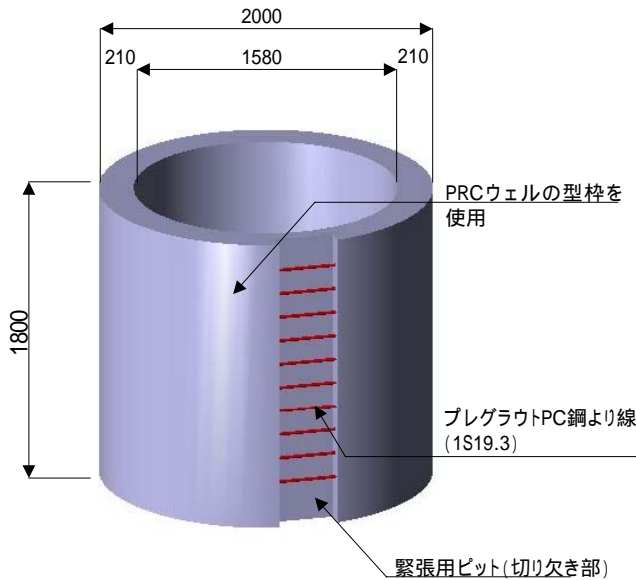


図-13 試験体概要



写真-1 試験体

(3) 試験結果

図-14 に緊張位置を示す。図中 で緊張を行った場合、ジャッキ荷重の増加につれてすぐ上の段であるの PC 鋼材が外側にはらみだした。この状態を写真-3 に示す。また、鋼材端部に設置したロードセルの値も計算値に比較して小さい値となった。これは緊張力が鋼材端部まで導入されておらず、スパイラル状に配置された余長部分の摩擦が緊張時に抵抗したものと考えられる。

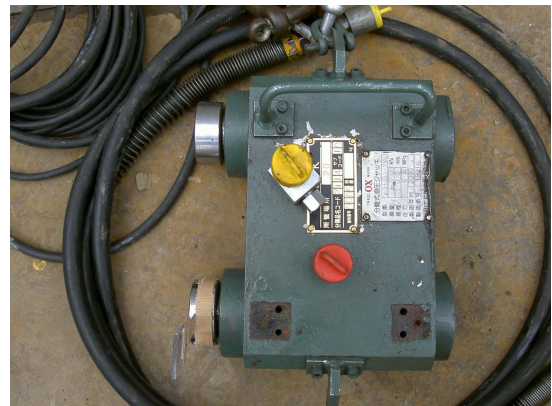


写真-2 双動ジャッキ

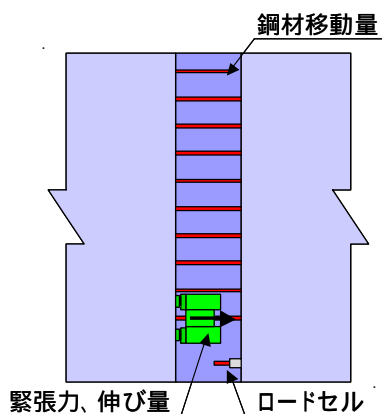


図-14 緊張位置図 1

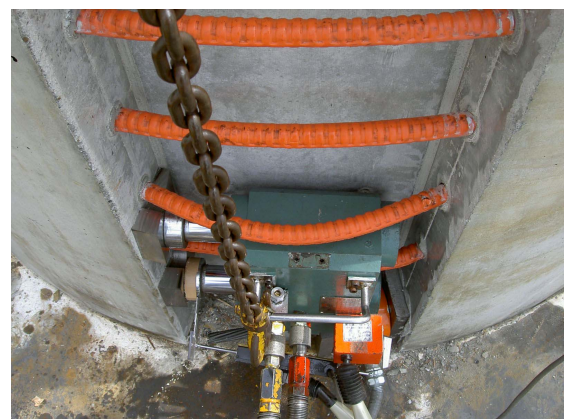


写真-3 PC 鋼材のはらみだし

そこでPC鋼材のはらみだしを防止し、余長部分のPC鋼材の移動が容易となる様に、の位置で仮緊張したのち、ジャッキをその状態で保持し、PC鋼材にある程度の引張力を作用させた状態でにおいて本緊張を実施した。図-15に緊張位置図、写真-4に仮緊張の状況、写真-5に本緊張の状況を示す。

試験結果として図-16にジャッキの引張力と固定端のロードセル値の関係を示す。この図よりグラフはほぼ直線を示しており、荷重が適切に導入されていることがわかる。また、で297kNの緊張を行った場合の固定端における緊張力は計算値では155.7kNであるが、これに対し、実験値では148kNであり、ほぼ計算通りの値となった。

さらに鋼材のはらみだしについては若干はらみだしが生じたものの、前回ほどではなく、問題とはならないレベルであった。

したがって、緊張方法の一つとして側壁上部で一端仮緊張を実施した後、本緊張を行えば、所定の緊張力を導入することが可能である。

次に試験体の内側にひずみゲージを貼付し、一連の緊張作業を下段から上段まで終了した後のコンクリートひずみ分布を計測した。ひずみゲージの貼付状況を写真-6に、ひずみ分布を図-17に示す。

グラフより試験体の全域にわたり圧縮ひずみが導入されており、側壁全体にわたり圧縮力が作用している。したがってPCコンファインド工法における緊張方法でスパイラルPCタンクにも圧縮力を導入できることが確認された。

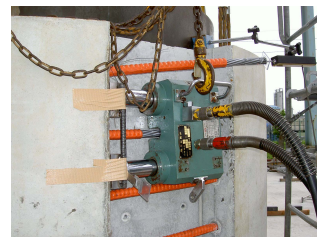
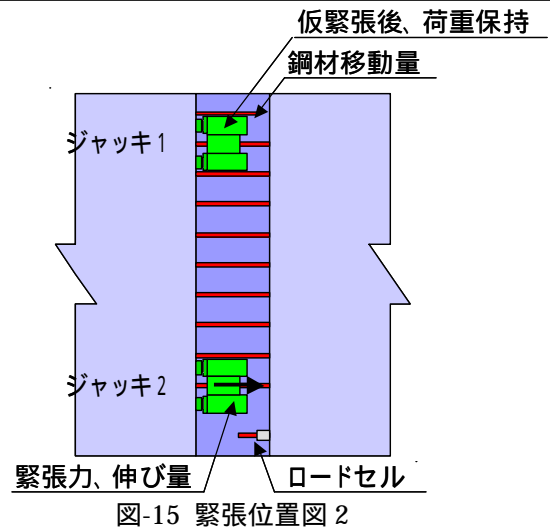


写真-4 仮緊張状況

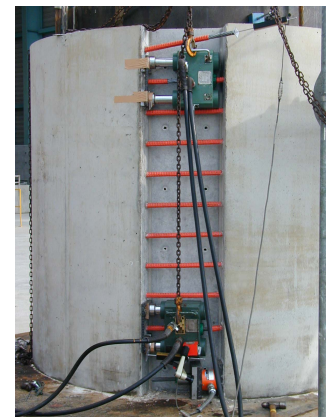


写真-5 本緊張状況



写真-6 ひずみゲージ貼付状況

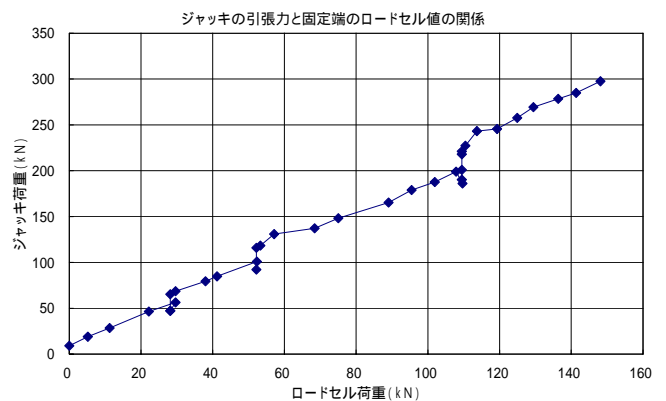


図-16 ジャッキ荷重と端部ロードセルの関係

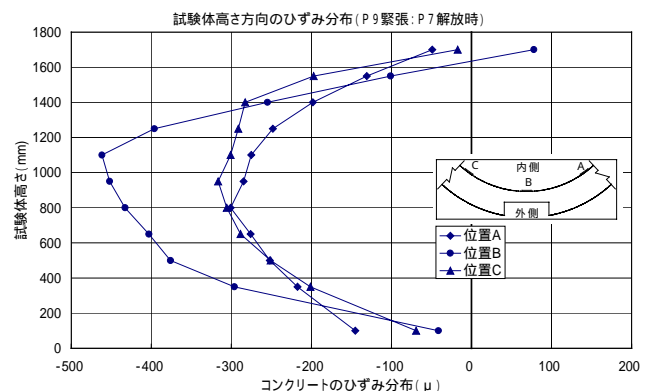


図-17 コンクリートのひずみ分布

6. まとめ

低コスト、省力化を目的としたスパイラル PC タンクの開発を進め、設計面や解析的な検討を行いました。また施工面での問題等は実構造物を模した試験体により確認を行った。これらの作業によりスパイラルタンクの大きな課題はほぼ解決できたものとする。今後は実施工に向けてより具体的な施工検討等を進め、一日も早く施工実績に結びつけるべく、開発作業を行う予定である。

参考文献

- 1) 日本水道協会:水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針・解説, 1998
- 2) 農林水産省構造改善局建設部:土地改良事業設計指針ファームポンド, 平成11年3月
- 3) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 平成14年3月
- 4) プレストレストコンクリート建設業協会:PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル, 2002年