

プレストレッシング装置

内海 康雄*1・多田 友也*2

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下、PCと略記）が実用化されてから80年近く、わが国においてもすでに50年近く経過した。この間に新しいPC構造物の設計・施工が次々に行われ、それに伴い緊張装置も種々新しいものが開発され進歩してきた。コンクリートの高強度化、大型構造物への適用、片持ち張出し架設・押し出し工法・大型移動支保工・スパンバイスパン架設などの新しい架設工法への適用が要求され、緊張装置は大型化や自動化など改良、開発が行われている。緊張装置に要求されることは、設計で計画されている所定のプレストレスを安全・確実に導入でき、施工性および経済性に優れていることである。

本稿では、プレストレッシングおよび緊張装置の基本的事項および現状を紹介する。

2. プレストレッシングについて

プレストレッシングとは、PC鋼材を引っ張って固定することにより、設計計算書に示された緊張力をコンクリート部材に正しく与えることである。しかし、設計で想定した緊張力を正しく構造物に与えるためには、まず、設計計算書などを十分に理解し、どのような方法でどのくらいの力で緊張したらよいかを正しく理解することが必要である。また、プレストレッシングは、コンクリート部材の耐力力を確保するものであるため、その管理は慎重に行わなければならない。

プレストレッシングの方法には、ポストテンション方式とプレテンション方式がある。プレストレッシングの一般的な作業手順は、ポストテンション方式を例にとると以下のことが挙げられる。

- ① PC鋼材を緊張・定着する。
- ② PC鋼材の防錆およびコンクリート部材とPC鋼材の

間の十分な付着力を確保するようグラウトをシースに注入する。

- ③ PC鋼材端部の定着部の防錆および保護を行う。

2.1 ポストテンション方式

ポストテンション方式では、PC鋼材は一般にコンクリート部材の端部で緊張され、定着具を介してコンクリートにプレストレスが導入される。

その際、定着具は、PC鋼材および定着工法の種類に応じて種々のものが用意されている。

それぞれの定着工法別の定着方法は表-1に示すとおりで、それぞれに緊張装置が用意され、使用されている。

表-1 ポストテンション定着工法

定着方法	工 法 名
くさび式	アンダーソン [®] 、CCL、FKKフレシネー [®] 、フープコーン [®] 、FSA [®] 、KCL [®] 、KTB [®] 、OBC [®] *、SK [®] 、SM [®] 、SWA [®] 、スリーストランド、ストロングホールド、TNC [®] 、VSL [®] 、ディビダークストランド*
ボタン式	BBR [®] 、OSPA [®] *
ねじ式	ディビダーク鋼棒 [®] 、FAB [®] 、SEEE [®] 、普通PC鋼棒、NAPP [®]
ループ式	パウル・レオンハルト [®] 、プレロード
合金式	安部式ストランド [®]

注) ①は国内で考案されたものを示す。

*は土木学会の「設計施工指針」に規定されたものを示す。

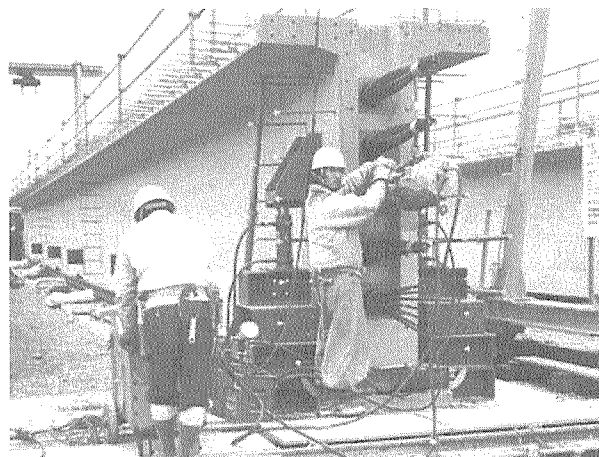
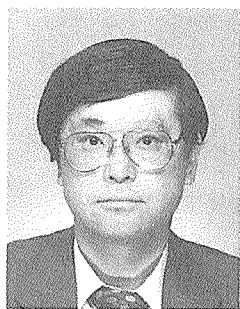


写真-1 ポストテンション緊張作業

2.2 プレテンション方式

プレテンション方式では、PC鋼材をアバット（PC鋼材を緊張して止める台）の間に配置し、これを緊張装置で所定の緊張力まで緊張しておく。コンクリート打設後、所定の強度が得られた時点で、緊張装置の緊張力を徐々に緩め、コンクリートにプレストレスを導入する。

ここで、プレストレスの導入方法について、ポストテンション方式と根本的に違う点は、ポストテンション方式の場合は、コンクリートの端部に設けられた定着具より緊張



*1 Yasuo UTSUMI

オリエンタル建設(株)
工務部



*2 Tomoya TADA

日本高圧コンクリート(株)
PC事業部 東京支社 技術部

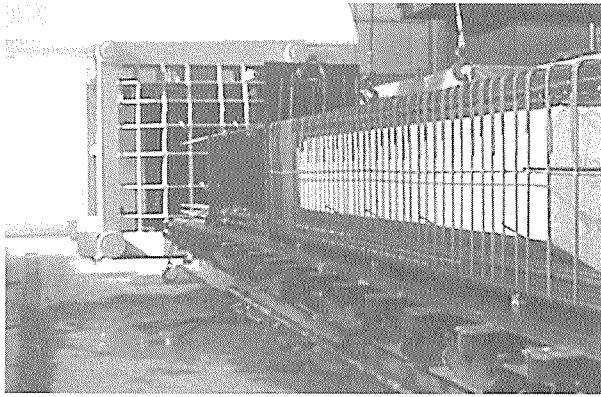


写真-2 プレテンション緊張装置 (アバット)

力が集中的にコンクリートに伝達されるが、プレテンション方式の場合は、コンクリートとPC鋼材の付着により、プレストレスが与えられる。

3. 緊張装置の仕組み

緊張装置として主に使用される油圧ジャッキおよび油圧ポンプの仕組み(図-1)について簡単に説明する。

3.1 油圧ジャッキ

油圧ポンプの操作によりオイルタンクから油が吸い込まれ、吐き出された油は油送管を通じて油圧ジャッキへ送り込まれる。油圧ジャッキに荷重がかかると、荷重の大きさに相当する圧力が発生する。続けて油をジャッキに送り込むと、連通部の油圧が荷重荷重に打ち勝ち、ラム(負荷W)は上昇する。

以上の原理をまとめると図-2に示すとおりである。

静止している流体は次の性質をもっている。

- ① 流体の圧力は受圧面に対して直角に作用する。
- ② 作用する各点の圧力はすべての位置において等しい。
- ③ 密閉した容器中の流体の一部に加えられた圧力は、同時に流体の各部に等しい強さで伝達される。

このパスカルの原理が油圧ジャッキ、油圧ポンプに利用されている(図-3)。この原理から受圧面積Aを大きくするかまたは圧力Pを高くすることにより、油圧ジャッキは大荷重(何百t~何千t)で作動できる。

3.2 油圧ポンプ

(1) 油圧ポンプの種類

油圧ポンプは油圧ジャッキなどに油を供給して作動させる油圧機器である。

油圧ポンプは吐出量が一定の定容量型ポンプが一般的に用いられており、その作動原理から回転式と往復式に分けられる。図-4に油圧ポンプの種類を示す。

回転式(低圧用)は大容量向きであり、吐出圧力は、6.9MPa~20.6MPa(70kgf/cm²~210kgf/cm²)である。ジャッキ用としてはピストンポンプの吸込みチャージ用、またはジャッキ無負荷時の早送り用として用いられる。

往復式(高圧用)の吐出圧力は、34.3MPa~196.1MPa(350kgf/cm²~2000kgf/cm²)で、吸込み・吐出しバルブなどを内蔵し、構造は複雑になっている。ポンプ効率(全効

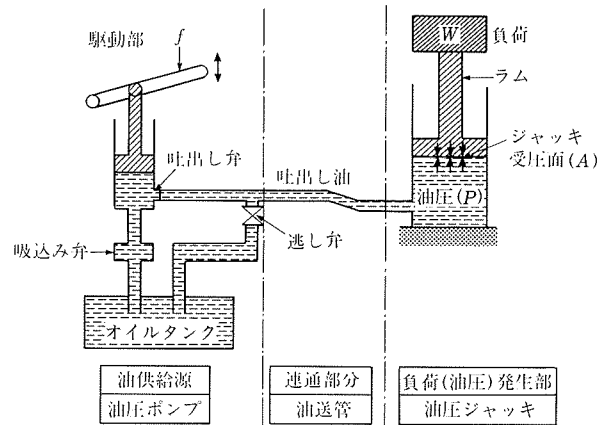


図-1 油圧ジャッキ・ポンプシステム

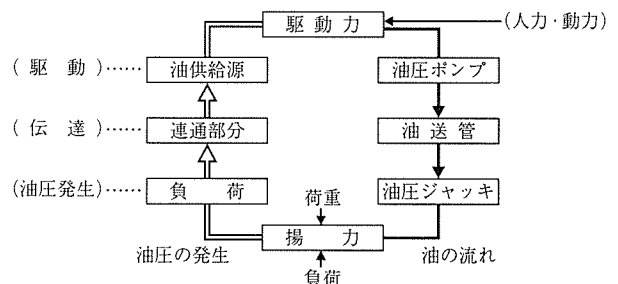


図-2 油圧ジャッキ・ポンプの原理

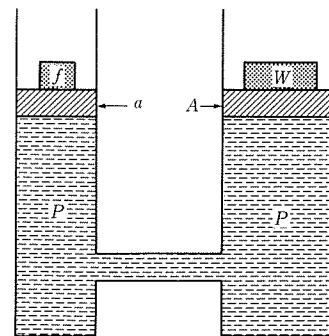
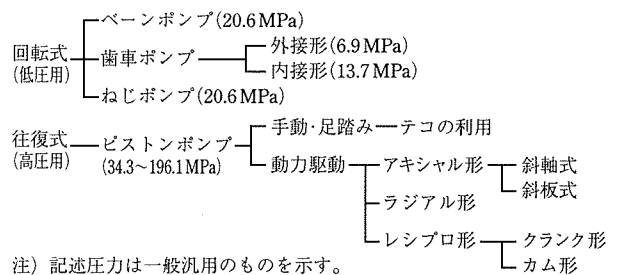


図-3 パスカルの原理



注) 記述圧力は一般汎用のものを示す。

図-4 油圧ポンプ構造上の種類

率)は80%~90%程度である。

(2) 油圧ポンプユニット

油圧ポンプは、油圧制御機器、付属機器と組み合わせて油圧ポンプユニットとして、油圧ジャッキなどの駆動源の役目をなすものである。

油圧ポンプの吐出圧力は、油圧ジャッキの使用圧力の120%程度が適当である。

油圧ポンプにはリリーフバルブ（安全弁または圧力スイッチ）を設け、油圧ポンプおよび油圧ジャッキが過負荷にならないよう上限圧力を制御しなければならない。

一般にリリーフバルブの設定圧力は、油圧ジャッキ使用圧力の115%以下になるよう設定するとよい。油圧ジャッキの大敵は逆圧を受けることである。

油圧ジャッキと油圧ポンプの接続間違い、あるいは油圧回路上に設けたバルブの不具合や戻り側（引き側）の油圧回路が閉塞された場合、戻り側（引き側）油圧ジャッキ（シリンダー）内部に面積差による異常高圧（逆圧）が発生する。油圧ホースの接続には注意する必要がある。

また、頻繁に接続替えを行う用途では、油圧ジャッキ戻り側の油圧回路にリリーフバルブを設け、安全対策を行うのが望ましい。

(3) 油圧ポンプの吐出量とジャッキ速度

油圧ポンプの吐出量は軸回転数に比例する。電動機駆動の場合、回転数は表-2のとおり電動機の極数、電源周波数により変わる。

表-2の回転数は電動機無負荷時の値で、負荷時の電動機の回転数は滑り（滑り率：約3%）があり、若干少なくなる。

ジャッキの使用したい速度に合わせてポンプ吐出量を選定するには、作業の安全性を十分に考慮することが重要である。

ジャッキの速度はポンプ吐出量とジャッキの受圧面積で決まる。

V：油圧ジャッキの作動速度（cm/min）

表-2 電動機駆動の回転数

電動機極数	電源周波数	
	50 Hz	60 Hz
4 極	1 500 rpm	1 800 rpm
6 極	1 000 rpm	1 200 rpm

Q：ポンプ吐出量（l/min）

A：ジャッキ受圧面積（cm²）

とすると、

$$V = \frac{Q \times 100C}{A} \text{ (cm/min)}$$

である。

また、油圧ポンプの駆動力は吐出圧力と、吐出量によって決まる。

駆動力：L（kW） 吐出圧力：P（kgf/cm²）

吐出量：Q（l/min） ポンプ効率：η 通常80%～95%

$$L = \frac{P \times Q}{612 \times \eta} \text{ (kW)}$$

したがって、60 Hz用の油圧ポンプを50 Hzで運転すると、同一吐出圧力では電動機回転数が減少する分だけ吐出量が減少し、その駆動力が小さくなる。

逆に、50 Hz用油圧ポンプを60 Hzで運転すると回転数が多くなり、吐出量と駆動力が増して電動機の定格オーバーになる場合があるので注意を要する。

3.3 緊張装置の故障と対策

主な故障の原因と対策についてまとめたものを表-3に示す。

3.4 緊張装置の使用上の注意事項

(1) 操作準備（始業点検）

操作準備の注意事項について次に示す。

- ① 通常、接地線（アース）は緑線で色別されている。接続しなくても電動機は起動するが、漏電した場合、作業者に感電する恐れがあるので、確実に接続する。
- ② 電源コードの接続は圧着端子を用い確実に接続する。電源コードは使用する油圧ポンプの電動機定格にあった容量のものを使用する。とくに、長い電源コードを用いる場合は電圧降下が起こるので、容量の大きいものを用いる。
- ③ 油圧ポンプ（ポンプユニット）は水平に設置し、キャ

表-3 主な故障の原因と対策

主な故障	原因	対策
吐出不足	<ul style="list-style-type: none"> ・ポンプの回転不良 ・回転方向の間違い ・タンク内の油面が低い。 ・フィルタの目詰まり ・吸入管系統に空気を吸入している。 ・作動油の粘度が適切でない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・カップリングを調べる。 ・回転数を点検する。 ・正しい回転方向にする。 ・基準面まで推奨の油を補給する。 ・フィルタの目詰まりを除去する。 ・タンク内部を洗浄し、ゴミを除去する。 ・空気吸入の箇所を修理する。 ・推奨粘度の油を使用する。
圧力が上がらない	<ul style="list-style-type: none"> ・リリーフバルブのセット圧力が低すぎる。 ・リリーフバルブが開き放しになっている。 ・圧力計が正常でない。 ・ジャッキ内部の油漏れ ・油圧回路系統内の漏れ 	<ul style="list-style-type: none"> ・所定の圧力に調整する。 ・分解し、ゴミを除去する。 ・圧力計および圧力計までの配管、バルブなどを調べる。 ・ジャッキ内部の点検およびバックシンを交換する。 ・各系統別に油漏れを調べる。
ポンプの異常騒音	<ul style="list-style-type: none"> ・空気の吸入 ・フィルタの目詰まり ・ポンプの取付けの不具合 	<ul style="list-style-type: none"> ・吸入管の結合部を点検する。 ・フィルタを掃除する。 ・ポンプ取付けボルトの緩みを点検する。
ジャッキの作動が不規則	<ul style="list-style-type: none"> ・空気の吸入 ・ジャッキの摺動部の抵抗 	<ul style="list-style-type: none"> ・空気抜きを確実にを行う。 ・バックシンの締めすぎを調整する。 ・異物のかみ込みを点検する。 ・ピストンロッド表面のきずを点検する。
油温の異常上昇	<ul style="list-style-type: none"> ・リリーフバルブの早漏れ ・タンク油量が少ない。 ・連結使用 	<ul style="list-style-type: none"> ・適正な設定圧力に調整する。 ・油量を点検補給する。 ・クーラーを設け、油温を下げる。

スター付きなど可搬式の場合、振動で移動しないよう確実に固定するよう注意する。

- ④ 油圧ホースは、所定の位置へ確実に接続し、使用するホースの口径は流量に適したものを選ぶ必要がある。
- ⑤ 出荷時は、作動油がこぼれないようパッキンで密閉されている。使用するときには、そのパッキンを外し通気できるようにする。
- ⑥ 油面計により油量が適正であるか確認する。不足の場合、指定作動油を補給する。
- ⑦ 切換え弁が中立になっていることを確認のうえ、寸動起動（インチャング）させ、回転方向を確認する。逆回転で長時間運転すると故障の原因になる。逆回転の場合は電気コードを継ぎ替えて直す。
- ⑧ 準備運転時の注意事項
 - ・油圧機器の適切な油温は10℃～60℃である。
 - ・作動油温が低すぎると油圧機器の作動に影響を及ぼし、高すぎるとパッキンのシール性能が低下する。
 - ・寒冷地では準備運転の時間を長くする必要がある。また、油圧ポンプが起動しない場合は、低温用作動油を使用する。

(2) 作動チェック

油圧ジャッキの作動が確実かつ円滑であることを確認する。

油圧ジャッキ・油圧ポンプを取り扱う場合、油圧ポンプや油圧回路構成により、操作方法が異なるため、取扱説明書をよく理解することが必要である。また、次の点に注意する必要がある。

- ① 油圧ジャッキの緊張速度は供給する油の量（ポンプ吐出量）で決まる。不用意な操作は危険を伴うことになる。計器と伸びを見ながら操作する。
- ② 使用前に空荷で作動確認を行い、操作準備に間違いがないことを確認するとともに、操作手順を把握する。
- ③ ポンプ側の圧力調整弁の設定圧力を確認する。
- ④ 長時間荷重を保持させる場合、ロックナット（安全ナット）機構付きを採用する。
- ⑤ 不確定な荷重は圧力計を用い、ジャッキにかかる荷重を正確につかむ。
- ⑥ 油圧ホース、継手類は形式に間違いがなく、十分に使用に耐えるものを用いる。
- ⑦ 油圧ホースの接続間違いによるトラブル（ジャッキ面積比による異常高圧発生）などがないよう、インチャング操作で試運転時、よく確認する。

4. 特殊な緊張装置と関連装置

ここでは、特殊な（用途に用いる）緊張装置と関連装置について紹介する。

4.1 リングアンカー用緊張装置

リングアンカーシステムは、緊張端と固定端が一体となった定着具を用いて、主にタンクなど円形構造物に360度一周配置して用いられるケーブルシステムである。φ15.2×

1本からφ15.2×12本のケーブル構成があり、

- ① 円形構造物にピラスターなどの緊張用突起を設けなくてよい
- ② 緊張端定着具および固定端定着具が一つの定着具になっているので、緊張作業が半分ですむ

などの特徴がある。図-5にリングアンカーシステムおよび緊張装置、写真-3にリングアンカーシステムの緊張状況を示す。

ジャッキの構成は、ラムチェア、Rチェア、ジャッキからなり、30度の角度で緊張できることが特徴である。

4.2 斜張ケーブル用特殊緊張装置

(1) 5 000 kN引込みジャッキ

斜張橋用斜材の張力導入用として開発された緊張受け梁と一体化したジャッキで、受け梁は桁側がピン構造になっているため、定着部を桁側に引き寄せ、ターンバックルで微調整を行える。2台のジャッキを並列に配置し、緊張受け

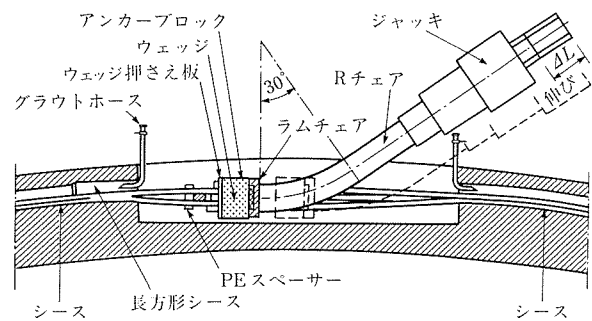


図-5 リングアンカーシステムおよび緊張装置

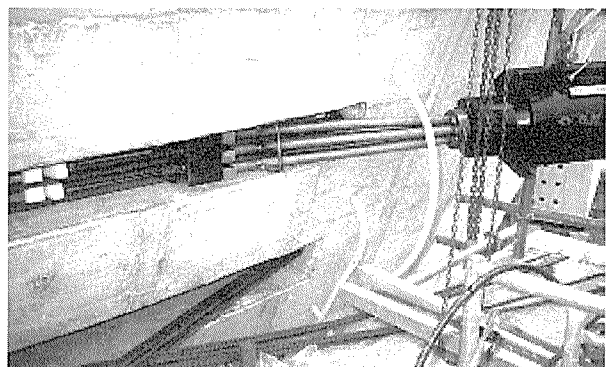


写真-3 リングアンカーシステムの緊張状況

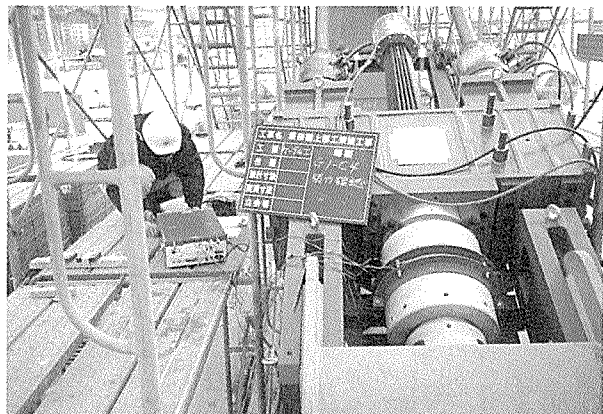


写真-4 斜材引寄せ緊張用5 000 kNジャッキ緊張状況

梁を介して、引き寄せる構造である。

容量 5 000 kN用は、ストロークが 250 mmである。

写真 - 4 に斜材引寄せ緊張用 5 000 kNジャッキの緊張状況を示す。

(2) 10 000 kN緊張ジャッキ

狭い桁内で緊張作業を行うため、分解組立てが容易にできるように開発された斜材調整用ジャッキで、1 000 kNジャッキを10台合わせた構造である。

容量 10 000 万 kN用は、ストロークが 50 mmである。

1次緊張は、シングルストランド用ジャッキを使用する。

写真 - 5 に斜材緊張用 10 000 万 kNジャッキの緊張状況を示す。

5. 今後の方向

本稿では、「プレストレス装置」について、主に油圧ジャッキおよび油圧ポンプの基本的事項について説明したが、コンピュータの発達や構造物の大型化に伴い、緊張装置もさらに改良、開発が進んでいくと思われる。

その方向性をまとめると以下のとおりと考えられる。

- ① 構造物の大型化に伴い、大容量のプレストレス装置の使用が予想されるが、施工性を考慮した軽量化・小型化が要求される。
- ② 安全性と作業性に配慮した装置の開発が望まれる。
- ③ 緊張装置、データ処理および緊張管理などの自動化が推進される。

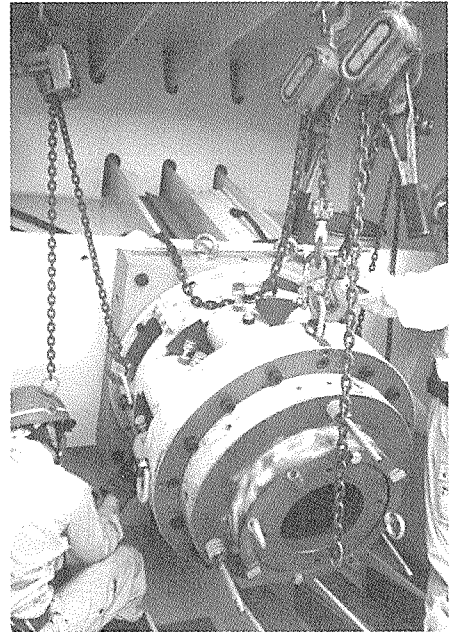


写真 - 5 斜材緊張用 10 000 万 kNジャッキ緊張状況

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：PC定着工法 2000年版，p.88，2000
- 2) 大阪ジャッキ製作所（監修）：ジャッキ入門，日刊工業新聞社，p.89，1993
- 3) プレストレストコンクリート技術協会：フレッシュマンのためのPC講座，p.88，1997

【2002年1月7日受付】