

PC 橋梁の架設について

(その 1. 固定支保工式架設工法)

はじめに

我が国にプレストレストコンクリート工法が技術導入されてから早くも 35 年が経過した。日本における PC 橋梁の種類、規模および技術レベルは世界的水準に到達し、近年の受注額は、年間 2 000 億円を超える仕事量となっている。その中で今回の講座は、PC 橋梁の架設工法について、5 回に分割して紹介することにした。

橋梁構造物の設計は、それぞれの地域環境、自然環境および完成された構造物が、その地域環境にマッチする構造形が選定される。当然、選定時には、経済性、施工性について、多種類にわたって工法比較されて最もその場所に適合したものが採用されている。PC 橋梁の施工時における架設工法の分類は次に示すとおりである。

1. 固定支保工式架設工法
 - a. 支柱式支保工架設
 - b. 梁式支保工架設
 - c. 梁支柱式支保工架設
2. プレキャスト桁架設工法
 - a. 架設桁架設
 - b. トラッククレーンまたはクローラクレーン架設
 - c. タワーエレクション架設
 - d. フローティングクレーン架設
 - e. 門型クレーン架設
 - f. 支保工式架設
3. 張出し架設工法
 - a. 場所打ち張出し架設
 - b. 張出しブロック架設
4. 押出し架設工法
 - a. 反力集中分散管理方式架設
 - b. 反力分散集中管理方式架設

5. 移動支保工式架設工法
 - a. 接地式移動支保工
 - b. 可動支保工（サポートタイプ）
 - c. 移動吊支保工（ハンガータイプ）
6. その他、特殊架設工法
 - a. アーチ斜吊り工法
 - b. アーチセントル支保工
 - c. ピロン式
 - d. メラン式
 - e. 斜張橋の施工
 - f. 併用式

以上の架設分類を 5 回に分割して報告する。

1

固定支保工式架設工法について

プレストレストコンクリート橋の施工の場合、固定支保工式架設工法で施工する構造物は次のとおりである。

- (a) 単純箱桁・ホロー桁・床版桁構造
- (b) 連続箱桁・ホロー桁・床版桁構造

等の構造設計された橋梁は、支保工を組み立て、その上で桁を製作するものである。支保工は、打設されたコンクリートが所定の強度に達するまで、一時的に支えておく仮設備であるが、支保工の良し悪しは、完成した構造に非常に大きく影響する。したがって、施工中における支保工の変形や沈下等によって構造物に悪影響しないように事故なく規定どおりできるように必要な検討を行わなければならない。特に打設された構造物は、プレストレス導入までは、無筋コンクリートに等しい状態であるから、地震時に悪影響を及ぼすような沈下や変形がないような支保工を造ることが大切である。したがって、支保工の構造選定は、その橋梁の地域環境（地耐力、交通事情等）を良く理解したうえで行う必要がある。過去の

支保工施工でコンクリート打設中に崩壊事故の発生した現場があるが、これらの事故を調査すると、支保工の構造耐力、地盤耐力等を細部の検討せずに施工した場合が多い。したがって、本講座は、支保工の基本的事項について述べることにする。

2 支保工の計画

支保工の計画にあたって、施工する構造物による荷重条件、施工場所の基礎地盤耐力、支保工に使用する部材および支保工全体の変形、安全性について検討することは勿論であるが、部材の取扱い、運搬、組立て、解体の容易なものを選ぶことが必要である。PC 橋梁の支保工は、プレストレス導入により桁のそりあるいは反力の移行を阻害しないものでなければならない。

(1) 材料の選定について

支保工に用いる材料には、一般に木材と鋼材が使用されている。鋼材には、工場生産の規格製品が多く使用されている。木材と鋼材の差異として、材料強度、材料の均等性、断面形状、施工精度等があげられるが、立地条件、荷重条件、工事規模等を考慮して適切なものを選ぶ必要がある。最近では熟練労働者の減少、リース業の著しい発達により鋼材が主流を占めている。しかし、支保工の材料は通常転用される回数が多く、損傷、変形、腐食等が生ずるため、使用に先だち十分点検することが大切である。

(2) 支保工の形式について

一般に使用されている支保工は、使用する部材の組合わせにより支柱式支保工、梁式支保工、梁支柱式支保工等の形式に分類される。

a. 支柱式支保工

支柱式支保工は、一般に鳥井型建枠を用いて型枠を支える程度の効果しかなく、殆んど支柱からなっている支保工をいう。図-1 に概要図を示すが、この形式では多数の支柱が必要なため、転用を考えれば規格化したものを使用するほうが有利であり、規格製品を用いれば組立て、解体が簡単であり運搬、整頓も楽にできる。一般に

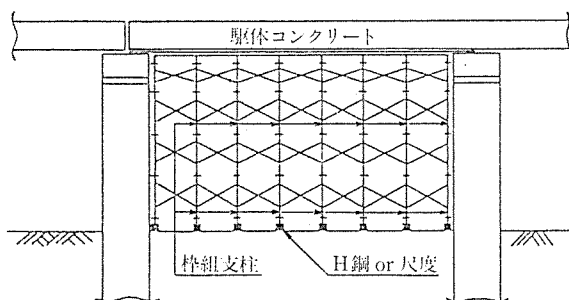


図-1 支柱式支保工概要図

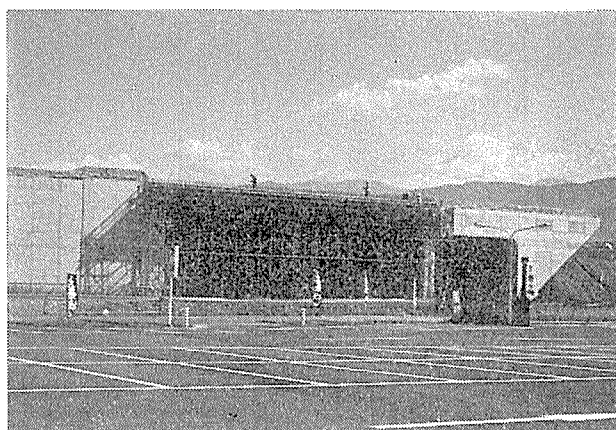


写真-1 支柱式支保工組立て完了時

支柱としては、単管支柱、型組支柱などが用いられている。したがって施工場所の地形が平坦で地盤の耐力が均等な条件の場合に適している。

b. 梁式支保工

梁式支保工は、梁で荷重を受け、梁の支柱材は、支柱を組み立て受ける場合と、橋脚や橋台にあらかじめH鋼や鋼ボルトを埋め込んでおき、ブラケット等の補強材を使用して計画する支保工である。

梁に使用する材料は、H鋼、トラスガーダ、等があるが、支間、荷重等によって、エレクションガーダを使う場合もあり、この場合の立地条件は、架設地点の地盤耐力が悪く中間に支柱が設置できない場合とか、桁下空間

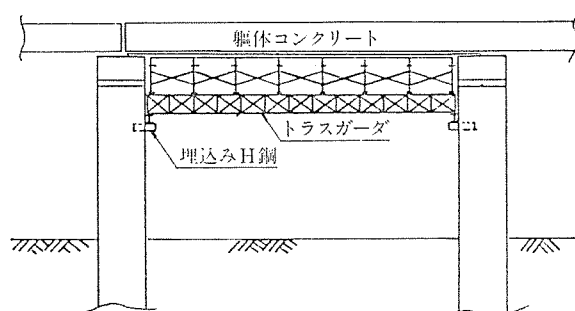


図-2 梁式支保工概要図

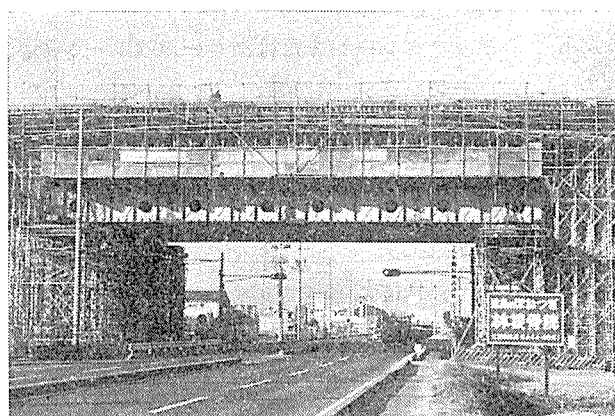


写真-2 梁式支保工組立て完成時

を使用できない場合に、この方式が採用される。

c. 梁支柱式支保工

梁で荷重を受け、この荷重を集中的に支柱で受ける支保工である。支柱としては、三角支柱、四角支柱およびH鋼等が使用され、梁材としては、I形鋼、H形鋼、プレートガーダ、ペコガーダ等が使用されるが、その材料の選定は、荷重の大きさ、支間長等によって区別されるものである。この形式の支保工を使用する場合は、桁下空間の使用制限がある道路交差点とか、河川部分等に多く採用されるが、支柱部分に集中して荷重が作用するため、支柱の基礎はこれに見合うべく堅固なものが必要である。

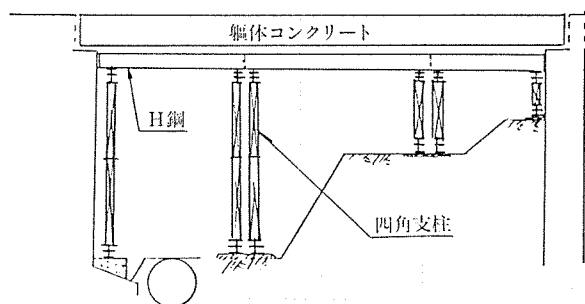


図-3 梁支柱式支保工概要図

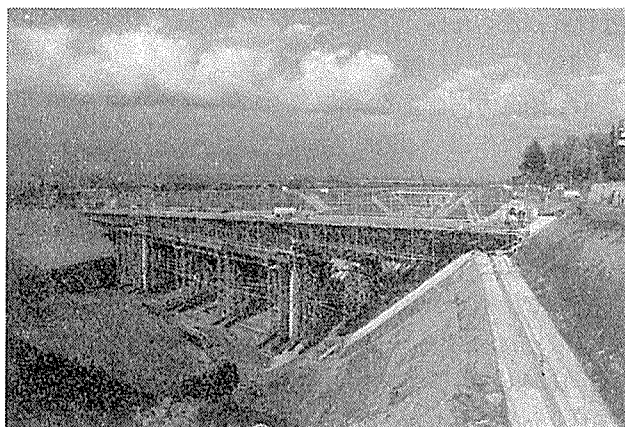


写真-3 梁支柱式支保工組立て時

3

支保工形式の選定

支保工形式の選定にあたっては、立地条件（地形条件、架設位置の高さ、基礎地盤条件、桁下空間の使用制限）、構造条件（橋梁形式、構造部材の形状寸法、既設構造物利用の可否）、工事規模および工期、等を考慮して、現場諸条件に適合しかつ安全で経済的なものを選ぶことが大切である。

地形などの条件によって支保工を選定するときの一般的な考え方を表-1に示す。桁下空間に何ら阻害するものがなく、支保工を支持する基礎地盤が良好な場合は、

表-1 地形条件による支保工の選定

地形の条件	適当な支保工	使用支保工例
平坦、地盤がわりあい良好、高さ10mまで	支柱式	パイプサポート 3.5mまで 1.5~2.0t/本 枠組 5.0t/本
地盤が不良	梁支柱式 スパン 3~5m	鋼製枠組支柱+梁 ペコサポート 16t/本 組上げ高 10mまで 組荷重 22t/本
地表条件悪い河川、道路との交差等の桁下空間に制限がある場合	梁式	スパン 10mまで Hビーム、トラス構造
		スパン 10m以上 ペコガーダ、みやこビーム、大型トラス構造、エレクションガーダ

支柱式支保工が一般に施工性、経済性とも有利である。ただし桁下高さが10~15m以上になる場合は、梁支柱式、または梁式と比較検討の必要がある。

道路との交差、小河川や水路等は、小支間の支保工梁を必要とする場合には、梁支柱式の支保工が選ばれる。架設地点が河川流水部の場合は、渇水期を選んで一般に施工されるが、流水断面を減少させないため、梁支柱式支保工が選ばれる場合が多い。この場合、桁下高さの低い時は、出水時を想定して、梁としては、ステー付き組立てトラス構造の使用を避けた方がよい。

一般に河川内の場合、洗掘などを考慮したうえでの基礎工費と、梁材費および転用の回数等で決定される。

基礎地盤が軟弱であったり、桁下高さが高い場合や、幹線道路、流水の多い大河川を横断する場合は、さらに大きな支間の支保工梁が用いられる。

以上のような支保工選定のための手順を図-4に示すフローチャートで検討する。

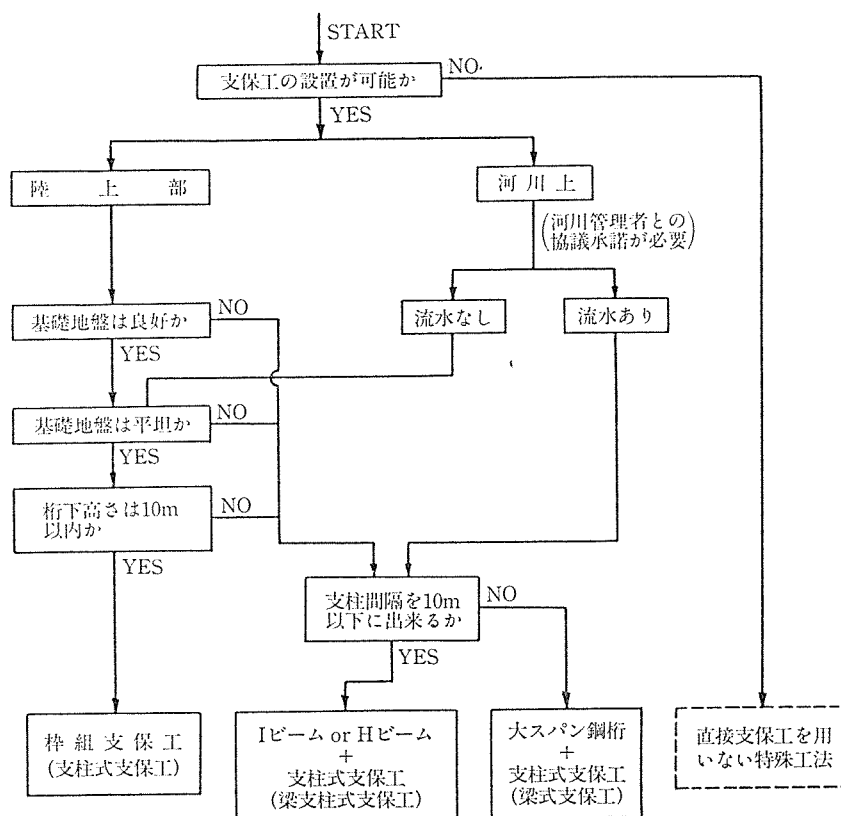
4

支保工計画上の留意事項

(1) 支保工梁の降下装置の設置

PC部材の場合は、プレストレスを与えることにより桁が反り上がり、その分だけ当初の支保工梁の弾性変形が小さくなる。したがって、支保工梁の弾性反力（復元力）が減少した分がPC桁自体に作用することになるので、このような荷重状態におけるPC桁の安全性を確かめておく必要がある。

最終プレストレスを導入し、PC桁が反り上がっても支保工梁が浮き上がらないと、PC桁には支保工からの弾性反力が作用していることになり、桁自重が完全に作用しないため、桁中央断面の上縁に引張応力が生ずる危険がある。このような場合、支保工梁両端にジャッキ、クサビなどの降下装置を設け、支保工梁の弾性反力を調整することによって、プレストレスが小さい場合には大きなものとならないので、自重に耐えるだけのプレスト



図一4 支保工形式選定のためのフローチャート

レスを導入した後、直ちに支保工梁を降下させるのが通常である。

(2) 支保工の水平方向の剛性

支保工はコンクリートの打設中および養生期間中、水平方向に十分な剛性を有しておく必要がある。コンクリート打設位置による偏荷重とか、支保工の上面が水平でない場合は、水平力が発生する。この水平力に耐える構造が要求される。また、プレストレス導入によって生ずる桁の移動に対して、型枠とコンクリートの摩擦力が抵抗するので不測の応力を生ずる。このため支保工は、初め下部構造あるいは筋かいなどによって水平方向の剛性をもたせておき、プレストレス導入時にはこれをゆるめコンクリートの変形を支保工が拘束しないように配慮することが大切である。

(3) 支保工部材の摩擦接合

コンクリート打設等の作業時の振動、衝撃により摩擦が切れることがあるので、部材に作用する水平力を摩擦で受け持たせる構造は避けなければならない。

5

支保工の設計で考慮すべきポイント

支保工の設計にあたっては、構造物重量に対する安全度、プレストレスの影響、作業荷重の影響、構造物の傾斜の影響、地震、衝突等の影響、経済性を考慮し

なければならない。

(1) 荷 重

a. 鉛直方向荷重

支保工に作用する鉛直方向荷重としては、コンクリートの重量、型枠および支保工の重量、作業員、施工機械等による作業荷重および衝撃荷重がある。

コンクリートは一般に単位重量 2.5 t/m^3 を標準として計算し、型枠および支保工は、使用部材の重量を計算して求めればよい。作業荷重は、労働安全衛生規則では、 150 kg/m^2 と規定しているが一般には安全をみて 250 kg/m^2 以上を考慮しておくのがよい。また労働省産業安全研究所では表一2に示す値を提唱しているので、参考にされたい。

b. 水平方向荷重

支保工に作用する水平方向荷重としては、作業時の振動、偏載荷重、衝撃等があるが、これらを正確に求めるのは困難であるから、一般には労働省産業安全研究所で提唱している次の値を参照する。

イ. 型枠がほぼ水平な現場組合せの支保工

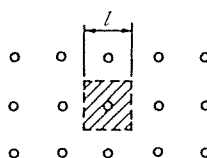
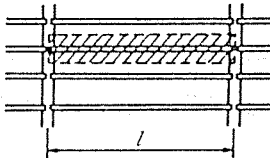
鉛直荷重の5%に耐える支保工構造とする。

ロ. 型枠が傾斜している場合

鉛直荷重の水平成分

このほかに、大きな風圧、流水圧などが作用する場合は、別途に計算して、前記の値に加算する。

表—2 作業荷重の大きさ

負担領域の長辺	作業荷重の大きさ	l の 考 え 方
$l \leq 1\text{ m}$	350 kg/m ²	 (a) 支柱の負担領域
$1 < l < 5.5\text{ m}$	$\frac{350}{\sqrt{l}}$ kg/m ²	
$l \geq 5.5\text{ m}$	150 kg/m ²	
		 (b) 梁の負担領域

参考として風による水平圧力を求める式を示すと次のとおりである。

$$q = 0.1 v^2 \left(\frac{h}{15} \right)^{1/4}$$

ここに、 q ：水平圧力 (kg/m²)

h ：風を受ける部分の地上高さ (m)

v ：風速 (m/sec)

施工時に用いる地震時の荷重については、特に規定はないが、設計時に用いた係数を用いるのは大きすぎる。道路公団では、施工時における地震係数は、設計時の係数の 1/2 を用いている例もある。

c. 特殊な荷重

支保工の設計は、一般に全荷重が作用した時の断面力について検討するが、施工順序や施工方法が制約を受けるような場合において、施工途中のほうが、全荷重が作用した時より危険な断面力を生ずることがある。これらについても十分検討しなければならない。

(2) 使用材料の許容応力度

支保工に用いる材料の安全度は、仮設材というだけで必ずしも永久構造物より小さくはとれない。仮設材であるから、許容応力を割増して考えること自体問題はないが、使用される回数が多く、設計に考える荷重に余裕がないことや、材料管理、施工精度が永久構造物に比べて劣るので、安全度をあまり低くしておくことは危険である。一般に許容応力度の値は、コンクリートについては土木学会「コンクリート標準示方書」、木材、鋼材については「労働安全衛生規則」の規定に従えばよい。

<木材の許容応力度について>

(a) 木材の繊維方向の許容応力度の値は、材料の種類に応じて、表—3 の値以下とするのがよい。

(b) 木材の繊維方向の許容座屈応力の値は、つぎの式により計算を行って得た値以下とするのがよい。

$$l_k/i < 100 \text{ の場合} \quad \sigma_k = \sigma_c (1 - 0.007 l_k/i)$$

$$l_k/i > 100 \text{ の場合} \quad \sigma_k = \frac{0.3 \sigma_c}{(l_k/100 i)^2}$$

ここに、 l_k ：支柱の長さ (cm)

i ：支柱の最小断面二次半径 (cm)



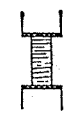
表—3 型枠および支保工材料の許容応力度

項目 種類	木 材 の 種 類	許容応力度 (kg/cm ²)		
		曲 げ	圧 縮	せん断
針 葉 樹	アカマツ、クロマツ、カラマツ、ヒバ、ヒノキ、ツガ、ベイマツ、ベイチ	135	120	10.5
	スギ、モミ、エゾマツ、トドマツ、ベイスギ、ベイツガ	105	90	7.5
広 葉 樹	カシ	195	135	21
	クリ、ナラ、ブナ、ケヤキ	150	105	15
合 板 (5 プライ以上)		165	135	10.5

σ_c ：許容圧縮応力度 (kg/cm²)

σ_k ：許容座屈応力度 (kg/cm²)

表—4 木材の繊維に直角方向の許容応力度

樹 種	許容めりこみ応力度		許容圧縮 応 力 度
針葉樹	$\sigma_c/5$	$\sigma_c/2$	σ_c
広葉樹	$\sigma_c/3$	$\sigma_c/4$	σ_c
	$a > d$ 	$a < d$ 	

<鋼材の許容応力度について>

(c) 鋼材の許容曲げ応力度、許容圧縮応力度の値は、当該鋼材の降伏強さの値の 2/3 以下とする。

(d) 鋼材の許容せん断応力度の値は、当該鋼材の許容引張応力の値の 4/5 以下とする。

(e) 鋼材の許容座屈応力度の値は、つぎの式により計算した値以下とする。

$l_k/i < 100$ の場合

$$\sigma_k = \sigma_c - (\sigma_c - 1000) (l_k/100 i)^2$$

$l_k/i > 100$ の場合

$$\sigma_k = \frac{1000}{(l_k/100 i)^2}$$

l_k , i , σ_c および σ_k は、(b) 式と同じとする。

一般的に支柱として用いられている鋼材について、許容応度を整理すると表—5 のとおりである。

表—5 鋼材の許容応力度

	曲 げ	引 張	圧 縮	せん断
一般構造用鋼材：SS 41	1600	1600	1600	915
一般構造用鋼管：STK 41	1600	1600	1600	915
構 造 用 形 鋼：SSC 41	1400	1400	1400	915

(3) 支保工の変位と上げ越し量

支保工は、コンクリート打設で荷重を受けて変形を生じる。一般に沈下量として発生する支保工の変位は、次のような要因が組み合わさって生じる。

- (a) 梁材のたわみ
- (b) 支柱材の弾性変形（縮み）
- (c) 継目および沈降装置の変形（死に、なじみ、くいこみ）
- (d) 基礎工の沈下
- (e) 木製の場合の乾燥収縮

これら支保工の沈下は避けられない現象で、現場ではキャンバー調整と合わせて支保工の予想される沈下量分だけあらかじめ上げ越すことにする。支保工の推定変位量と実際の値との差は、コンクリート構造物の仕上がり精度に直接関係するものであり慎重を要する。上げ越し量の決定にあたっては、複雑に考えないで、簡明な仮定をして支保工精度に相応した算定をする。

梁材のたわみと支柱材の弾性変形は計算によって求めることができるが、組立て部材のたわみは計算によって求めることは困難である。したがって、メーカーによる実験値を参照する必要がある。支柱部材の継目や接点の間隙のなじみによる沈下、木材の接触面のくい込み、沈降装置の変形など部材接点の沈下量は表—6に示す数値が考えられる。

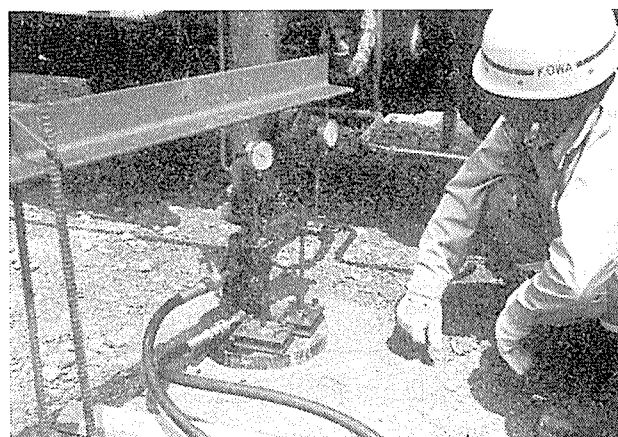
基礎の沈下量は、支保工の全沈下量のうちで最も大きい要素で、できるだけ載荷試験などによって沈下量を推定するのが望ましい。

表—6 部材継目の変位量の参考例

部 材	変位量 (mm)
鋼 支 柱 — 鋼 柱	0.5 ~ 1.0
鋼 支 柱 — 木 材	1.0 ~ 2.0
鋼 支 柱 — 鋼 面	0.5 ~ 1.0
木 材 — 木 材	1.0 ~ 2.0
(繊維方向) (繊維方向)	
木 材 — 木 材	0.5 ~ 1.0
(繊維方向) (直角方向)	
木 材 — 木 材	1.0 ~ 2.0
(直角方向) (直角方向)	
砂 箱	3.0 ~ 6.0

(4) 支保工の基礎

支保工によって伝達される鉛直および水平荷重はすべて基礎に作用する。基礎は、これらの荷重に対して十分な強度を有し、かつ安定していなければならないととも



写真—4 地耐力試験

に、沈下量が少ないものでなければならない。

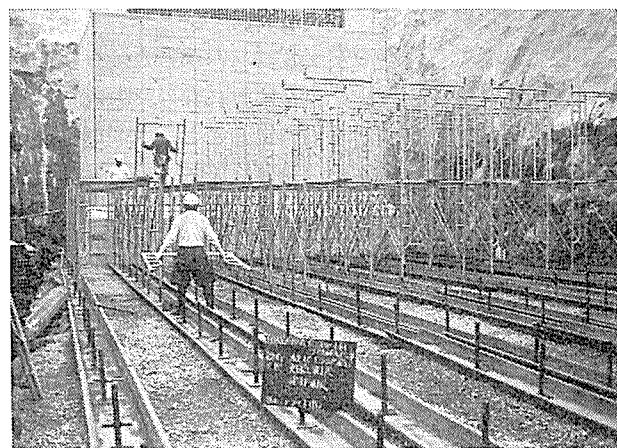
基礎構造の形式は、既設構造物を利用する場合、地上基礎の場合、仮設コンクリート基礎および杭基礎に大別できる。これらの形式を現場立地条件に適したものを選ぶことが必要である。

(a) 既設構造物を利用するもの

橋台、橋脚の一部または、フーチングを利用するもので基礎として確実である。

(b) 地上基礎

地盤が良好で沈下量が少なく載荷荷重の小さい場合に採用され、地盤の整地点圧後直接枕木、シートパイル等を並べて基礎とする。この場合は、雨水および養生水等の排水処理が必要である。



写真—5 地上基礎施工時

(c) 仮設コンクリート基礎

現場条件で表層が軟弱であってもすぐ下に良質な支持層がある場合、支持層に直接の仮設コンクリートを打設して基礎工として使用する 場合で、この方法は、梁支柱式支保工等で比較的載荷荷重が大きい場合に採用される。

(d) 杭 基 礎

表-7 推定による場合の許容支持力度

基礎地盤の種類		常 時	地震時	目安とする値		備 考
		(t/m ²)	(t/m ²)	N 値	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	
岩 盤	亀裂の少ない均一な硬岩	100	150	—	100 以上	標準貫入試験の N 値が 15 以下の場合には、基 礎地盤として不適
	亀裂の多い硬岩	60	90	—	100 以上	
	軟 岩, 土 丹	30	45	—	10 以上	
礫 層	密 実 な も の	60	90	—	—	
	密 実 で な い も の	30	45	—	—	
砂 質 地 盤	密 な も の	30	45	30~50	—	
	中 位 な も の	20	30	15~30	—	
粘性土地盤	非 常 に 硬 い も の	20	30	15~30	2.0~4.0	
	硬 い も の	10	15	8~15	1.0~2.0	
	中 位 の も の	5	7.5	4~8	0.5~1.0	

鋼杭（普通 H 鋼が多い）、木杭などを地盤に打ち込み基礎工とする形式である。地盤が軟弱で支持層が深い場合、河川内で洗掘の恐れのある場合、支間の大きい梁式支保工の支柱の基礎などに採用される。杭基礎の場合には、杭頭の高さ調整あるいは杭に均等な荷重が作用するように配慮する必要がある。

6

あ と が き

プレストレストコンクリート橋梁を支保工で施工する場合は、前述したような基本的事項を検討し、その橋梁の施工に最も適合する方式を選定することが大切である。

特に支保工の組立て・解体を実施する場合は、人力で高所作業を行うことが多く、作業手順を守り、安全管理

の面で安全带、防護網等を規準どおり設けて事故のないよう作業することが重要である。

参 考 文 献

- 1) プレストレストコンクリート技術の現況，社団法人 プレストレストコンクリート技術協会，S57.1
- 2) 橋田敏之，小村敏：PC 橋架設工法総覧
(注) 本橋の図-1~4，表-1~5 は当文献より引用させていただいた。
- 3) 「施工計画書」作成の手引き，社団法人プレストレストコンクリート建設業協会

【記：板井栄次*¹，仙洞田将行*²，中村一樹*³，
長尾徳博*⁴，理崎好生*⁵】

*¹ 住友建設（株）土木部設計第2課長代理

*² 興和コンクリート（株）工事部次長

*³ オリエンタルコンクリート（株）技術部主任研究員

*⁴ 富士ビー・エス・コンクリート（株）東京支店工務課長

*⁵ ビー・エス・コンクリート（株）主任研究員