

PCに関する試験および測定 入門講座 No.2

PC に使用する各種材料の試験

講師：狩野 誠一郎*

① はじめに

プレストレストコンクリート（以下 PC と略記）構造物は、一般の鉄筋コンクリート構造物よりも主に高強度のコンクリートと高強度の緊張材によって構成されることを前提としています。したがって、これらに使用する材料は、その目的に適合した品質が保証されていなければならない、PC 構造物の施工に先立って、使用される材料が所定のものであることを、試験によって十分確認しておかなければなりません。

そこで、PC 構造物の施工の立場から、PC 構造物に使用される各材料に関して、一般に行われている試験の種類をあげ、それらがどのように利用されているか、試験目的、試験方法等について概要を説明します。

試験は原則として JIS（日本工業規格）に定められた方法によりますが、その他、土木学会規準などの方法によって行われるものもあります。

なお、ここでは紙面の都合もあり、試験方法の詳細については省略し、また、水、セメント、骨材、混和材料等に関する試験についても省略します。

② PC に使用する材料の種類

PC 構造物は、コンクリート、緊張材のほか、鉄筋、ポストテンション方式におけるグラウト、シース、緊張材をコンクリートに定着する定着具などから構成されています。

PC に使用するコンクリートは、一般に設計基準強度が 300～500 kgf/cm² のコンクリートが使用されていますが、橋梁のスパンの長大化、断面の縮小化のため、圧

縮強度が 600 kgf/cm² を超えるような高強度コンクリートも使用されています。

また、近年、コンクリート構造物の信頼性向上、施工の省力化・合理化などを目的として、締固め作業が不要の高流動コンクリートも少しずつ実用化されてきています。

緊張材として一般に使用されているものには、PC 鋼棒、PC 鋼線および PC 鋼より線などがありますが、塩害等の影響を大きく受ける沿岸地域においては、耐腐食性を有する炭素繊維、アラミド繊維などの新素材を緊張材として使用している例もあります。

鉄筋には丸鋼と異形棒鋼がありますが、一般には異形棒鋼の SD295 や SD345 が使用されています。また、塩害を受ける地域では、エポキシ樹脂塗装鉄筋や、上述したような新素材を鉄筋の代替品として使用している例もあります。

表-1 PC に使用する材料の種類および主な試験項目

種類	主な試験項目	
コンクリート	フレッシュコンクリート	スランプ試験、空気量試験、単位容積重量試験、塩化物含有量試験
	硬化コンクリート	圧縮強度試験、静弾性係数試験、引張強度試験、曲げ強度試験
グラウト	流動性試験、ブリーディング率および膨張率試験、塩化物含有量試験、圧縮強度試験	
PC 鋼材	引張試験、リラクセーション試験	
鉄筋	引張試験、曲げ試験	
その他	定着具および接続具	定着具をコンクリートと組み合わせた性能試験 定着具および接続具の緊張材と組み合わせた性能試験
	シース	外圧抵抗力試験、注入試験
他	接着剤	比重・粘度・可使用時間・引張強さ・圧縮強さ・接着強さ等の各試験

（表中、太字は現場の技術者が必ず立ち会って確認しなければならない試験）

* Seichiro KANO：オリエンタル建設（株） 技術研究所

ポストテンション方式のPC構造物においては、グラウトは重要な役割を果たしています。グラウトはセメント、水、グラウト用混和剤、などからなっており、一般のグラウトのほか、ノンブリーディングタイプのグラウトもあります。

このほか、シース、定着具および接続具、プレキャスト部材の接合に用いる接着剤などがあります。

表一にPCに使用する材料の種類および主な試験項目を示します。

3 PCに使用する各種材料の試験

3.1 コンクリートに関する試験

3.1.1 フレッシュコンクリートの試験

今日においては、PC工事などのほとんどの工事に使用するコンクリートは、生コン工場よりレディーミクストコンクリート（略して、レミコン、生コン）を購入し

使用することが一般的となっています。

レディーミクストコンクリートは、原則としてJIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に適合するものを用いなければならず、荷卸し地点で、スランプ、空気量、強度、塩化物含有量などが所定の条件を満足していなければなりません。生コン工場は、その品質を保証するため定められた試験を行う必要があり、品質管理のための試験には、スランプ、空気量、強度、塩化物含有量などの各試験があります。その際、現場技術者は、生コン工場から提出される試験成績書等により、使用材料の種類および品質が設計図書の規定に適合しているかどうかを確認すればよいことになります。

練り上がりコンクリートの試験を行うためには、試験しようとするコンクリートを代表するように、試料を採取する必要があります。JIS A 1115「まだ固まらないコンクリートの試料採取方法」に詳しく記されています。現場においては、ほとんどトラックアジテータからコンクリートを供給しており、JIS A 5308では、試料の採取

フレッシュコンクリートの受入れ

JIS A 5308では、“レディーミクストコンクリート納入書”や“レディーミクストコンクリート配合報告書”の提出が義務づけられています。したがって、生コンの受入れの際には、現場技術者は、これらの資料により、運搬時間やコンクリートの種類が注文したとおりのものか、などを確認しなければなりません。JISでは、コンクリートは、練混ぜを開始してから

1.5時間以内に荷卸しができるように運搬しなければならず、排出の際、固くなったからといって水を加えたりするようなことは禁物です。

なお、レディーミクストコンクリートの呼び方は、コンクリートの種類による記号、呼び強度、スランプ、粗骨材の最大寸法による記号、セメントの種類による記号、からなっています。

レディーミクストコンクリート納入書					
					No. _____
					平成 年 月 日
_____ 殿					
製造会社名・工場名 _____					
納入場所					
運搬車番号					
納入時刻		発着	時 分		時 分
納入容積		m ³	累計		m ³
呼び方	コンクリートの種類による記号	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大寸法による記号	セメントの種類による記号
荷受職員認印		出荷係認印			
備考					

備考 用紙の大きさは、日本工業規格A列5番(148×210 mm)又はB列6番(128×182 mm)とする。

レディーミクストコンクリート納入書 (JIS A 5308より抜粋)

◇講座◇

を“トラックアジテータで30秒間高速かくはんした後、最初に排出されるコンクリート50~100lを除き、その後のコンクリート流の全横断面から採取することができる”としています。

(1) スランプ試験

フレッシュコンクリート（まだ固まらないコンクリート）の具備すべき第一の要件は、対象とする構造物の施工において、作業に適するワーカビリティ（施工のし易さ）をもつことです。したがって、フレッシュコンクリートの品質を判定するには、そのコンクリートのワーカビリティを正當に評価する必要があります。ワーカビリティの良否はコンシステンシー（コンクリートの軟らかさ）に左右され、そのコンシステンシーを測定する試験として、JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」が最も一般的です（写真-1）。

スランプは、円錐台形のコンクリートが重力によって変形するときの上面の下がり量で表され、スランプが大きければ、打込み作業は容易になりますが、粗骨材がモルタルから分離する傾向が著しくなります。一般の土木構造物はスランプが5~12cm程度のコンクリートが用いられ、PC道路橋では、スランプは8cmを標準として

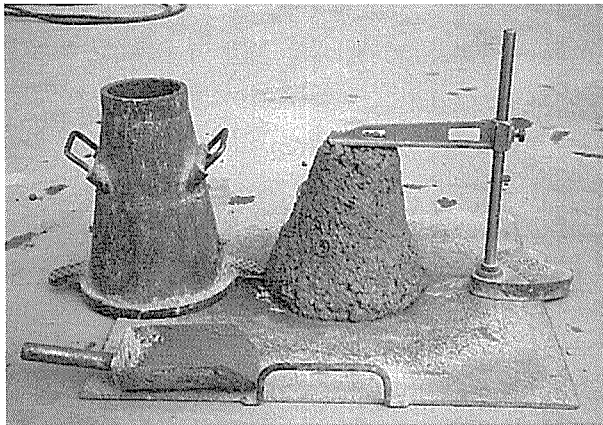


写真-1 スランプ試験

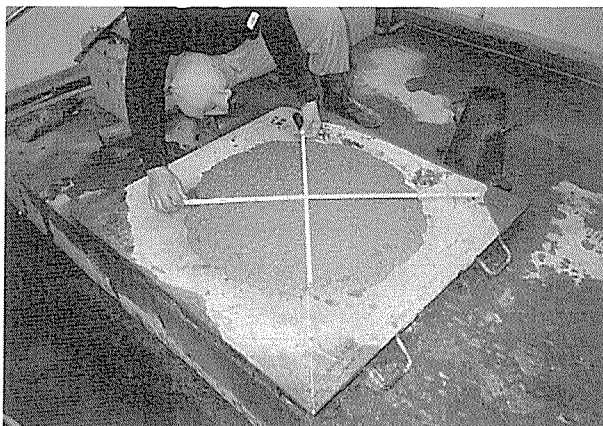


写真-2 スランプフロー試験

います。

スランプ試験において、スランプ測定後にコンクリートの側面を突き棒で軽くたたきなどして、そのくずれ方を見ることによってワーカビリティの判定を行うのに良い参考となります。

また、締固め作業が不要の高流動コンクリートにおいては、スランプコーン（コンクリートを詰める容器）を引き上げたときの水平の広がりをスランプフローといい、このコンクリートの広がりの直径を、最大と認められる方向とこれに直角な方向の2ヶ所で測定して、流動性などを判定します（写真-2）。

(2) 空気量試験

フレッシュコンクリート中には、練り混ぜの際に自然に含まれる空気泡（エントラップトエア）と、AE剤やAE減水剤などの使用によって混入される空気泡、いわゆるエントレインドエアがあります。特に、エントレインドエアは、直径が0.025~0.25mm程度の互いに独立した球状の空気泡で、砂粒子のまわりでボールベアリングのような働きをするため、コンクリートのワーカビリティを非常に改善するとともに、適当量のエントレインドエアを混入したコンクリート（AEコンクリート）は、気象作用に対する耐久性がきわめて優れたものとなります。したがって、激しい気象作用を受ける場合には、AEコンクリートを用いることを原則とします。しかし、過剰な空気量は、コンクリートの強度を低下させ、また、品質のばらつきも著しいものとなるため、AEコンクリートとする場合は、フレッシュコンクリート中に含まれる空気量が適切であるかどうかを確かめるために空気量試験を行うことが必要です。

フレッシュコンクリートの空気量の試験方法としては、JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法—空気室圧力方法」が最も一般的に実施されています（写真-3）。この試験は、エアメーター内のコンクリート中の空気量を空気室の圧力減少によっ

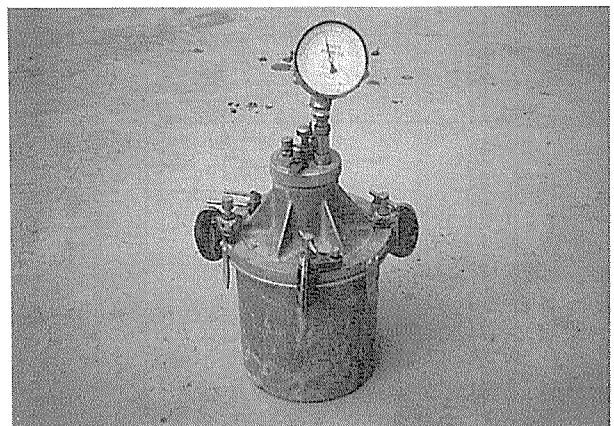


写真-3 空気量試験

て求めるもので、原理はボイルの法則に基づいており、AEコンクリートに限らず、一般のコンクリートの場合においても品質管理用として広く利用されています。

一般のPC道路橋において、AEコンクリートとする場合には、空気量は4%を標準としています。

(3) 単位容積重量試験

コンクリートの単位容積重量は、骨材の種類、コンクリートの配合などによって異なった値となります。したがって、構造物の設計において基準とした単位容積重量に対して、現場のコンクリートの単位容積重量が適切であるかどうか、計画した配合条件のコンクリートが製造されているかどうかを確認する目的で単位容積重量試験が行われます。特に軽量骨材コンクリート、あるいはケーソンなどの海洋コンクリートなどのように、単位容積重量の大幅な変動が構造物の性質に著しい影響を与える場合には重要となります。

フレッシュコンクリートの単位容積重量試験は、JIS A 1116「まだ固まらないコンクリートの単位容積重量試験方法及び空気量の重量による試験方法（重量方法）」に規定されており、容器の中に詰めたコンクリートの重量を容器の容積で割ることによって単位容積重量を求めることができます。一般の工事に用いられるコンクリートの単位容積重量はおよそ $2.3\sim 2.4\text{ t/m}^3$ になります。

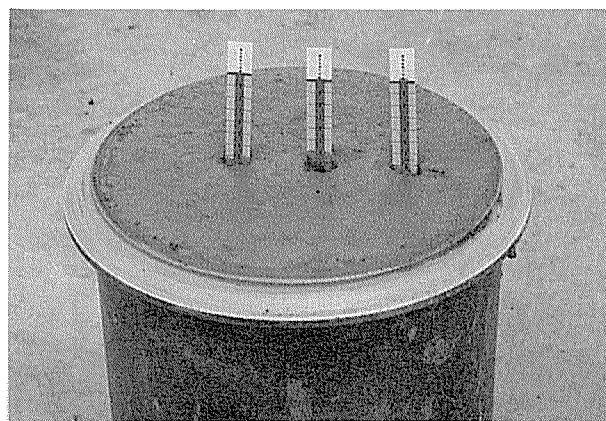
なお、この試験によって空気量も求めることができます。

(4) 塩化物含有量試験

コンクリート中の鋼材の表面は、コンクリートの強アルカリ性によって不動態皮膜が形成され、腐食から保護されています。しかし、コンクリート中にある限度以上の塩化物が存在すると、塩素イオンの作用によって不動態皮膜が破壊され、腐食が進行し、構造物が早期に劣化、いわゆる塩害の原因となります。したがって、この塩害の影響を最小限に抑えるためにコンクリート中の塩化物量に対する規制が必要となります。鋼材の腐食に関与するのは塩化物中の塩化物イオン(Cl^-)であるため、コンクリート中の塩化物量は塩化物イオンの総量で表します。

フレッシュコンクリート中の塩化物量を測定するための測定器は多数開発されていますが、工事現場での測定に適している簡易法としては、試験紙法（モール法）、イオン電極法、電極電流測定法、電量滴定法などがあり、いずれも（財）国土開発技術センターの評価を受けた塩化物量測定器を用います（写真—4）。

フレッシュコンクリート中の塩化物量(Cl^- 重量)は、ポストテンション方式のPC部材では 0.6 kg/m^3 以下に規定されていますが、緊張材が直接コンクリートと接するプレテンション方式のPC部材では、 0.3 kg/m^3 以下



写真—4 フレッシュコンクリートの塩化物量の測定
（試験紙による）

と規定されています。この塩化物イオン(Cl^-)が 0.3 kg/m^3 という値は、NaClいわゆる塩に換算すると約 0.5 kg/m^3 ということになります。

3.1.2 硬化コンクリートの試験

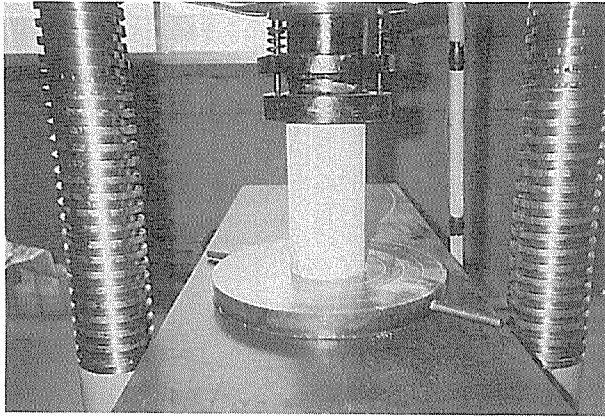
(1) 圧縮強度試験

構造物の設計において使用されるコンクリートの強度にはいろいろな種類がありますが、一般のコンクリート構造物は主としてコンクリートの圧縮強度を利用して造られているため、コンクリートの強度および品質を表す基準として圧縮強度を用いるのが一般的です。

PCにおいては、圧縮強度試験は工事中のコンクリートの品質管理はもちろんのこと、型枠の取りはずし時期、プレストレスの導入時期、また構造物の設計において基準とした強度が得られたかどうかなどを確認する目的で行われます。

コンクリートの強度は、使用材料、配合、養生方法、材令等によって異なるだけでなく、試験に用いる供試体の形状・寸法、載荷方法等によっても異なった値となります。したがって、圧縮強度試験のための供試体は、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に規定されており、直径の2倍の高さをもつ円柱形で、一般には $\phi 10 \times 20\text{ cm}$ の円柱供試体を使用されています。

圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」によって定められた試験方法で行うのが普通で、圧縮強度は、供試体の乾燥状態、温度等により変化する場合もあるので、養生を終わった直後の状態で試験を行う必要があります。湿った状態と乾燥した状態では、乾燥した方が強度は高くなる傾向にあります。また、荷重を加える速度が速くなれば強度は高くなります。したがって、荷重を加える速度は、最大荷重の約50%までは比較的早くても構いませんが、それ以後は原則として、圧縮応力度の増加が毎秒 $2\sim 3\text{ kgf/cm}^2$ ($0.2\sim 0.3\text{ N/mm}^2$)になるように規定されています（写真—5）。



写真一五 圧縮強度試験

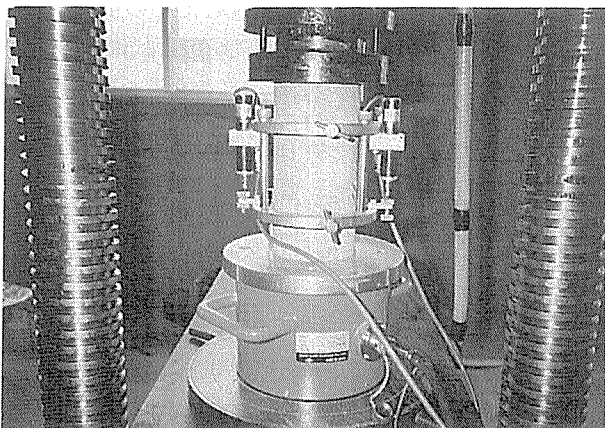
(2) 静弾性係数試験

PC 構造物においては、プレストレスングにより、また、設計荷重等が作用することにより、コンクリートが変形します。この場合どのくらい変形するかを計算・管理するとき必要となるのがコンクリートの重要な物理係数である静弾性係数（ヤング係数）です。

静弾性係数は、コンクリートの圧縮強度用円柱供試体に圧縮力を加えたときの、断面に作用する応力とコンクリートの縦方向のひずみとの関係から求めることができ、供試体の応力-ひずみ曲線において、応力が最大荷重の 1/3 に相当する点とひずみが 50×10^{-6} の点とを結ぶ線分の勾配、いわゆる割線弾性係数が一般的に用いられています。

コンクリートのひずみを測定する方法としては、一般にはコンプレッソメータによる方法と抵抗線型ひずみ測定器による方法があります。

この試験はまだ JIS 化されてはいませんが、土木学会規準に「コンクリートの静弾性係数試験方法（案）」として試験の方法について規定されています（写真一六）。



写真一六 静弾性係数試験（コンプレッソメータによる）

(3) 引張強度試験

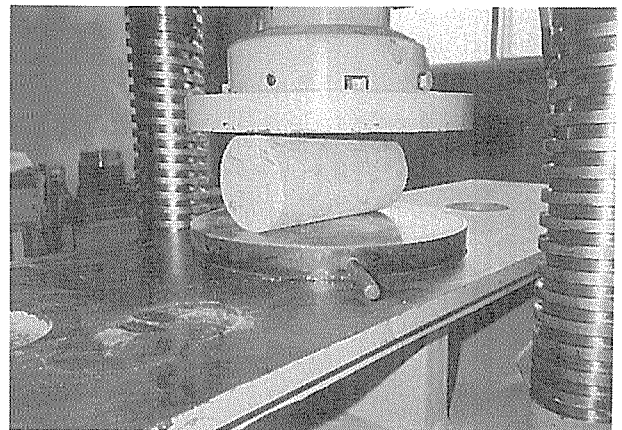
コンクリートの引張強度は圧縮強度の 1/10~1/13 できわめて小さく、一般の鉄筋コンクリート部材では無視

されていますが、PC 構造物などの設計では重要な性質となります。また、コンクリートのひび割れに対する抵抗性を評価するうえからも、この試験を行うことは重要です。

この試験に使用する供試体は、JIS A 1132 によりますが、一般には、圧縮強度試験の供試体と同じ $\phi 10 \times 20$ cm の円柱供試体を使用されます。

引張強度試験は、JIS A 1113「コンクリートの引張強度試験方法」により、円柱供試体を横にして上下から加圧する、いわゆる割裂試験で、この方法によって得られた引張強度と軸方向の純引張による値とはほぼ一致することが確かめられています。

荷重を加える速度も引張強度に影響を及ぼすため、JIS の中で規定されています（写真一七）。

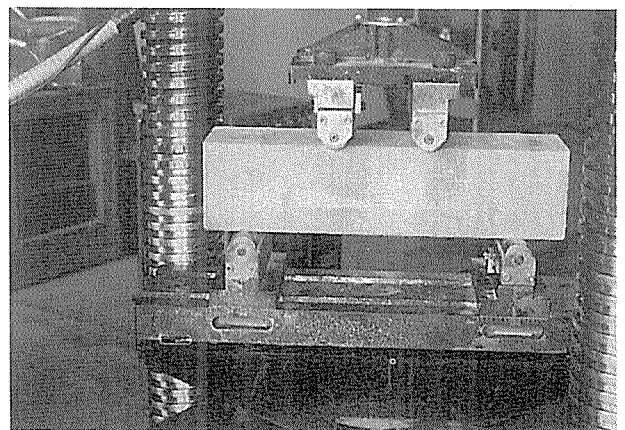


写真一七 引張強度試験

(4) 曲げ強度試験

コンクリートの曲げ強度は、おもに道路、空港などのコンクリート舗装の設計基準強度に採用されており、これらのコンクリートの品質決定、品質管理は曲げ強度試験によって行うことになっています。

この試験に用いる供試体は、JIS A 1132 に規定されており、一般に、断面が 10×10 cm または 15×15 cm で、



写真一八 曲げ強度試験

長さは、断面の一辺の長さの3倍より8 cm 以上長い角柱供試体です。

試験方法は、JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」により、3等分点荷重とし、供試体に曲げモーメントを加え、供試体の引張側に生じる曲げ引張応力を求めるものです(写真—8)。

なお、この試験によって得られる曲げ強度は、圧縮強度のおよそ1/5~1/7の値となります。

3.2 グラウトに関する試験

ポストテンション方式のPC 構造物において、グラウトは、PC 鋼材を腐食から保護し、PC 鋼材と部材本体のコンクリートを付着により一体とすることを目的としており、構造物の強度や耐久性に影響を及ぼす重要な工程です。上記の目的を達成するためにグラウトに要求される品質には、

- ① 腐食性の物質を含まないこと。
- ② 材料の分離がなく均一であり、ブリーディングの発生が少ないこと。
- ③ 注入作業が確実に行われるように、適当な流動性を有し、作業時間内は流動性の低下が少ないこと。
- ④ 硬化前には適切な膨張性を有すること。
- ⑤ 所定の圧縮強度を有すること。

などがあげられます。

グラウトが以上のような品質をもつかどうかを確認する方法として、土木学会規準「PC グラウト試験方法」の中に、流動性試験、ブリーディング率および膨張率試験、強度試験がそれぞれ規定されています。

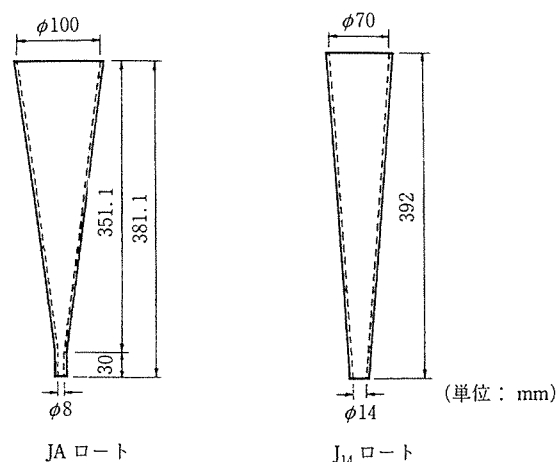
グラウトの試験は、工事開始前にグラウトの配合を確認する場合と、工事中に所要の品質のグラウトができていないかどうかを管理する場合に行われ、工事開始前には、流動性試験、ブリーディング率および膨張率試験、強度試験を、また、工事中においては、流動性試験、膨張率試験、強度試験、さらに、塩化物含有量試験も行わなければならない。

(1) 流動性試験

グラウトが注入に適した流動性(コンシステンシー)を備えているかどうかを測定するもので、注入前ばかりでなく注入作業中にも適当な流動性を有しているかどうか確認する必要があります。この試験には、ロート方法と沈入方法があり、一般的にはロート方法が用いられています(写真—9)。ロート方法には、図—1に示すようなロートが用意されており、これらロート内に満たしたグラウトが流出管から流れきるまでの流下時間(フロータイム)で流動性を評価します。一般には、通常の場合、通常の配合の場合、粘性の低いものから高いものまで広い範囲の流動性の測定に適しているJA ロートによるの



写真—9 流動性試験



図—1 ロートの種類と形状寸法
(土木学会コンクリート標準示方書規準編より抜粋)

を標準としています。これに対して、ノンブリーディングタイプの高性能減水剤を用いた場合は、高粘性となるため、JA ロートで測定すると測定値のばらつきが大きく、規準を満足しない結果を生じるおそれがあり、このような場合は、J₁₄ ロートで管理することが適当であるといわれています。

グラウトの流動性は、気温、ダクトの空隙率、注入長、注入用器具等を十分に考慮し、施工に適した値を選ばなければならないませんが、表—2に示す流下時間の基準値を満足すれば、十分注入を行うことができます。

表—2 各ロートの流下時間の基準値

	ロートの種類	流下時間(秒)
ロート方法	JA ロート	15~30
	J ₁₄ ロート	5~12

(2) ブリーディング率および膨張率試験

ダクト内に注入したグラウトが、ダクト内のすみずみまでゆきわたりブリーディング水を外部に押し出し、確実に充填されるかどうかの性質を調べるためのもので、練り混ぜ後静置しておいたグラウトの一定時間後におけ

◇講座◇

るグラウト表面に浮いた水の量がグラウトの体積の何%であるか、また、膨張量がもとの体積の何%であるか、を調べるものです。

試験器具として一般的に用いられているのは、直径5 cm、長さ50 cmのポリエチレン製の袋で、この袋の中にグラウトを入れて試験を行います(写真-10)。

グラウトはブリーディング率がゼロであることが望ましく、一部、ノンブリーディングタイプのグラウトがあるものの、通常の方法・配合を用いた場合は、ある程度のブリーディングは避けられないことから、ブリーディング率の品質基準値を3%以下と規定しています。

また、一般に、アルミニウム粉末等を混入して、適当

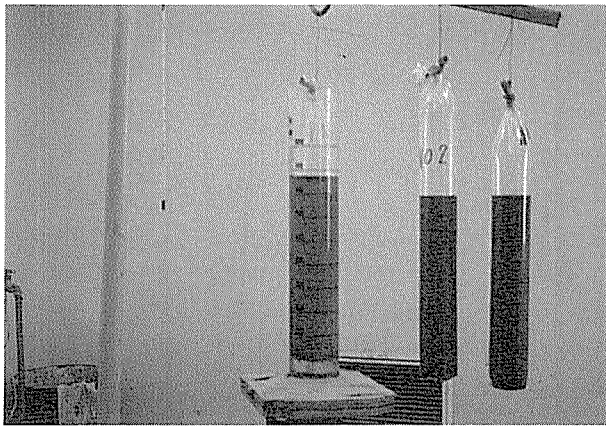


写真-10 ブリーディング率および膨張率試験

量膨張させることによって充填性を高め、ブリーディング水の排除等の点で有効に作用しますが、過大な膨張を起こさせると、コンクリートにひび割れを生じさせるおそれがあるので、膨張率は、一般には3~7%程度がよく、品質基準値としては10%以下と規定しています。

(3) 圧縮強度試験

グラウトは、単にPC鋼材の周囲の空隙を充填してその腐食を防止するだけではなく、PC鋼材とコンクリートとの付着を必要とすることから、適度な強度を有するものでなければなりません。したがって、注入されたグラウトの品質を総合的に判断するために圧縮強度試験を実施します。試験に用いる供試体は $\phi 5 \times 10$ cmの円柱形で、実際に施工されたグラウトが桁のコンクリートで拘束されていることから、条件を同じにするために、供試体の作製時には、 $\phi 10 \times 20$ cmのコンクリート円柱供試体と同じ重量(3.6 kg)のおもりを押板の上に乗せて、グラウトが硬化する時の膨張を拘束します。

試験方法はJIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い、グラウトの品質基準値として、材令28日において圧縮強度が 200 kgf/cm^2 (20 MPa)以上であることが要求されます。

(4) 塩化物含有量試験

緊張されたPC鋼材は、常に高い応力状態にあり応力腐食を受けやすいため、許容量以上の塩化物は構造物の耐久性に大きな影響を及ぼします。したがって、グラウ

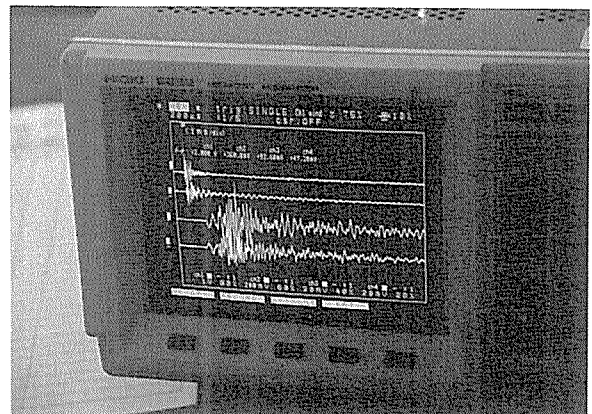
グラウトの充填状況の確認試験

ポストテンション方式のPC構造物においては、ダクト内のグラウトが硬化後に確実に充填されているかどうかを目視により直接確認することは不可能です。そこで、構造物を傷つけることなく、非破壊試験によってグラウトの充填状況を確認しようとする試みがなされています。この試験には超音波法や打音法などがあ

り、いずれも特殊な装置を使用し、電氣的に測定された波形などの特徴からグラウトの充填状況を検査しようとするものです。そのほかX線法などがありますが、いずれも、精度、経済性、現場の作業性等の面で、まだ十分に確立されているとはいえませんが、今後のさらなる研究が望まれるところです。



打音法によるグラウト充填状況の測定



測定結果の一例（出力波形）

ト中の塩化物量を規制する必要があります。

塩化物含有量を測定する機器は、フレッシュコンクリートと同様の機器を用いる必要があります。塩化物含有量は、塩化物イオン (Cl⁻) 重量で 0.30 kg/m³ 以下と規定されています。

3.3 PC 鋼材および鉄筋に関する試験

PC 構造物に使用される鋼材はおもに PC 鋼材と鉄筋です。PC 鋼材については、JIS G 3536「PC 鋼線及び PC 鋼より線」、JIS G 3109「PC 鋼棒」に、また、鉄筋については JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」にそれぞれ規定されているものが一般に使用されます。

PC 鋼材および鉄筋は、構造物の設計において基準とした所要の品質を有していなければならず、これを確認するために、必ず試験を行う必要があります。しかし、一般に使用されるこれらの PC 鋼材や鉄筋は、現在大量に製造されており、その品質特性の確認が十分に行われています。したがって、鋼材メーカーが発行するミルシート（試験成績表）によって所要の品質が得られていることが確認でき、また、有害な腐食、傷、よごれ、および変形を受けていないことが判明している場合には、現場における試験を省略しても良いことになっています。

PC 鋼材に関する試験としては、JIS G 3536、JIS G 3109 の中に引張試験とリラクセーション試験を行うよう規定されており、また、鉄筋に関する試験としては、JIS G 3112 の中で引張試験と曲げ試験を行うようそれぞれ規定されています。

(1) 引張試験

金属材料試験の中でもっとも一般的かつ重要なものは引張試験です。この試験は JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」の中で詳しく規定されていますが、引張試験機を用い試験片または製品を徐々に引っ張り、降伏点、引張強さ、伸び、などを測定する試験です（写真—11）。

引張試験で使用する試験片の寸法および形状は、JIS

Z 2201「金属材料引張試験片」によりますが、PC 鋼材および鉄筋については、通常、機械仕上げをせず製品のままとし、規定の長さにして試験を実施しているのが一般的です。なお、異形棒鋼の場合は、伸び測定の基本となる標点距離、およびつかみ部の間隔などの長さの決定は公称直径によります。

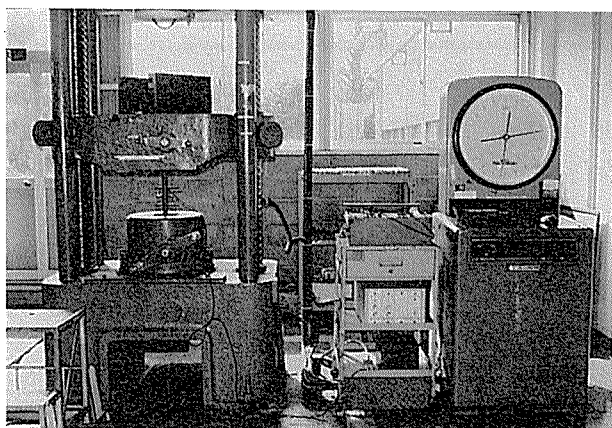
引張試験において、試験片を引張試験機に取り付けて荷重をかけると、PC 鋼材の場合は、明瞭な降伏点は現れません。このような場合には、永久伸びが 0.2% になるときの応力度 (0.2% 耐力) を求めてこれを降伏点としています。鉄筋の場合には、明瞭な降伏点が認められ、上降伏点と下降伏点がありますが、下降伏点は試験機の慣性の影響などで明確につかめないこともあることから、一般には降伏点として上降伏点の値をとることが多いようです。

引張試験における荷重を加える速度も試験結果に影響を及ぼし、早く引っ張れば降伏点が上昇し、引張強さも幾分上昇します。したがって、JIS Z 2241 の中には荷重速度の規定があり、たとえば、降伏点を求める場合には、規定値に対応する荷重の 1/2 の荷重までは適宜の速度で荷重を加えても構いませんが、1/2 の荷重を超えた後は、平均応力増加率が毎秒 3~30 N/mm² になるように荷重を加えるように規定されています。

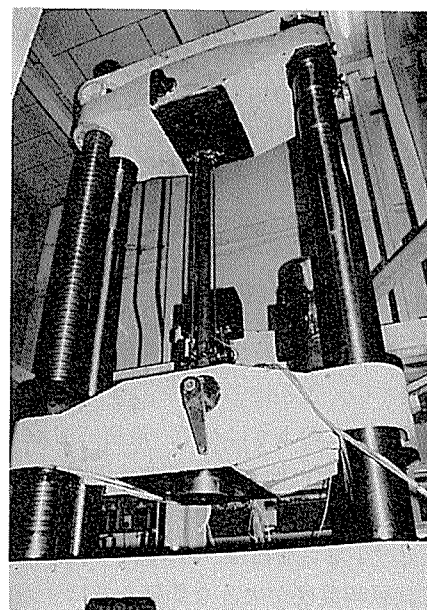
(2) リラクセーション試験

PC 構造物においては、PC 鋼材を使用している限り、PC 鋼材のリラクセーションによるプレストレスの減少は避けられないものです。

リラクセーションとは、全ひずみ一定の条件の下で、鋼材に作用している荷重 (応力) が時間とともに低下する現象です。リラクセーション試験においては、鋼材に



写真—11 鋼材の引張試験



写真—12 リラクセーション試験

鋼材のミルシートの見方

PC 鋼材や鉄筋の納入の際には、メーカーよりミルシートと一緒に提出されます。下表には PC 鋼棒 (JIS G 3109) のミルシートの一例を示しますが、引張試験の結果とともに JIS の規格値も記載されています。

JIS G 3109 では降伏点や引張強さは応力保証値として規定されており、表中の“降伏点”(JIS では“耐力”という言葉で表現されている)は、0.2 % 永久伸びに対する応力で、“引張強さ”は試験中の最大荷重(引張荷重)を公称断面積で除したものです。また、“伸び”は、公称径の 8 倍の標点間距離に対する破断伸びの百分率として表し、“リラクセーション”は、規格引張強さの 70% を積載荷重として、1 000 時間つかみ間隔をそのまま保持して荷重の減少を測定したと

きの、元の積載荷重に対するその減少した荷重の百分率として表しています。“ヤング率(弾性係数)”は JIS の中では規定されていませんが、一般に 190~210 kN/mm² の範囲にあり、主に、PC 鋼材の緊張作業の管理の際に、PC 鋼材の伸びを計算する場合に使用されます。これら機械的性質のほかに、化学成分として、不純物の溶鋼分析値の結果も記されており、これらの試験結果はすべて規格値を満足していなければなりません。

なお、受入れの際には、外観に有害な傷、その他の欠点がないことを確認し、径、全長、ねじ長さなどが注文したとおりのものであるか確認することが必要です。

検査証明書										発行日 95 年 12 月 21 日		No. 429108			
御中 工事名															
品名 PC鋼棒 26 規格 JISG3109 B種 1号SRPR930/1080															
買注文番号 44-2737 製造番号 H-16488															
										機 械 的 性 質					
規格	種類	径	寸法	ねじ長さ	数量	単位	降伏点 N/mm ²	降伏点 N/mm ²	引張荷重 N	引張強さ N/mm ²	伸び %				
		+規定なし -0.6	5000未満+5 5000以上+7	200未満+10 200以上+15		本	49.4	93.0	57.4	1080	5.1				
	B	25.49	6920	50	180	4	531	1000	593	1116	12				
合計						4									
備考						ヤング率 kN/mm ²	リラクセーション 4%以下	鋼 番		化 学 成 分					
						200	3.00	557094		P	S	Cu			
										0.030%以下	0.035%以下	0.30%以下			
										0.010	0.006	0.04			

左記の製品は検査の結果指定の規格に合格したことを証明します。

PC 鋼棒のミルシートの一例

一定の荷重を加えたとき、時間の経過とともにひずみが増加しようとはしますが、このとき、全ひずみを許容範囲内で一定に保ちながら、増加したひずみに対応して荷重を低下させていくことによって、ひずみの増加を消去することができ、このようにして、最初に加えた荷重から時間の経過とともに低下する荷重を測定して、リラクセーション値(%)を求めます(写真-12)。

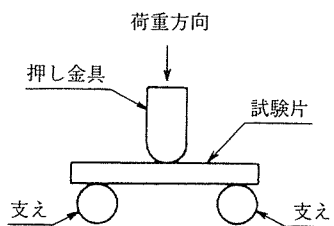
リラクセーション値には、初期載荷荷重の大きさ・上昇速度、試験時温度が大きな影響を及ぼすため、JIS G 3109 あるいは JIS G 3536 の中で規定されています。ま

た、このほかりラクセーションに関する規準として、JIS Z 2276「金属材料の引張りラクセーション試験方法」などがあります。

(3) 曲げ試験

曲げ試験は材料の変形能を調べるものです。試験片は、JIS Z 2204「金属材料曲げ試験片」によりますが、機械仕上げをせず、製品のままとします。

試験は、JIS Z 2248「金属材料曲げ試験方法」の中で 3 種類の方法が規定されていますが、一般には押曲げ法が行われており、試験片を規定の内側半径で規定の角度



図—2 曲げ試験（押し曲げ法）
(JIS Z 2248 より抜粋)

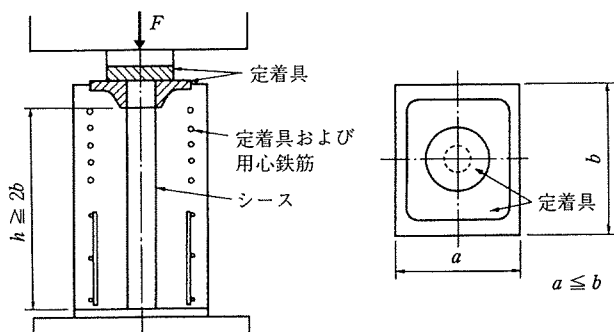
になるまで押し曲げたときに、わん曲部の外側に裂け傷その他の欠点の有無を観察します（図—2）。

3.4 その他の試験

コンクリート、グラウト、PC 鋼材および鉄筋のほかに PC 構造物に使用される材料として、PC 工法の定着具および接続具、シース、プレキャスト部材の接合に用いる接着剤などがあります。これらの材料に関する試験についての概要を以下に示します。

(1) PC 工法の定着具および接続具に関する試験

PC 工法に用いる定着具および接続具は、定着または接続される緊張材の規格引張荷重以下で破壊したり、著しい変形を生じることのないような構造および強さを有するものでなければなりません。したがって、これらの性能を調べるために、土木学会規準「PC 工法の定着具および接続具の性能試験方法（案）」に標準的な試験方法が定められています。これによると、①定着具をコンクリートと組み合わせた性能試験（図—3）、②定着具および接続具の緊張材と組み合わせた性能試験、があり、それぞれ所定の基準を満足しなければなりません。しかし、品質が保証され、実績のあるものは省略することができます。

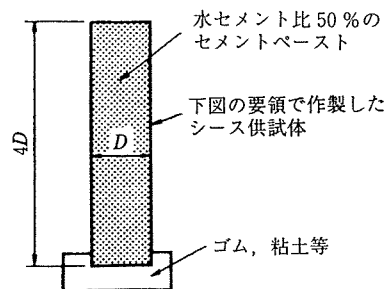


図—3 定着具をコンクリートと組み合わせた性能試験
(供試体および荷重方法)
(土木学会コンクリート標準示方書規準編より抜粋)

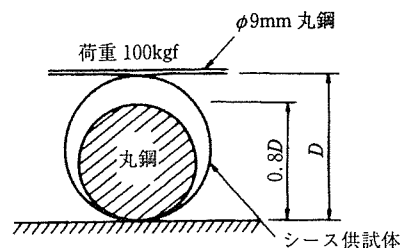
(2) シースの試験

シースは、その取扱い中あるいはコンクリートの打込みのときに、容易に変形しないようなものであって、その合わせ目、継ぎ目等からセメントペーストが入り込ま

ないようにしなければなりません。したがって、シースの品質を確かめるための試験には、土木学会コンクリート標準示方書の施工編によると、局部的な外力および等圧外力に対する抵抗力を試験（外圧抵抗力試験）したシース供試体や所定の曲率半径に曲げたシース供試体を使用し、それらシース供試体の中にセメントペーストを注入して漏れがないことを確認（注入試験）します（図—4）。しかし、これらの試験は、メーカーより提供された試験結果によって品質を確認し、実績のあるものについては省略してもよいことになっています。



D : シースの内径
シースの試験方法



D : シースの内径
局部的な外力に対するシース供試体

図—4 シースの試験の一例
(土木学会コンクリート標準示方書施工編より抜粋)

(3) 接合に用いる材料の試験

プレキャスト部材の接合に用いる材料のうち、接着剤は、強度、耐久性、および水密性が部材と同等以上であることが必要で、用いる前にその品質を確かめるための試験をしなければなりません。特に、主剤と硬化剤からなるエポキシ樹脂系接着剤については、その品質が、土木学会規準「プレキャストコンクリート用エポキシ樹脂系接着剤（橋げた用）品質規格（案）」の中に規定されており、外観、比重、粘度、可使時間、だれ最小厚さ、引張強さ、圧縮強さ、接着強さ、などの各試験を JIS による方法によって行うよう規定されています。

4 おわりに

以上、PC 構造物に使用される主な材料について代表的な試験の概要を簡単に述べましたが、中には必ずしも

◇講座◇

PCの現場に直結していない試験も含まれているかもしれません。

今日では、現場に納入される材料等は各メーカーの提出する試験成績書等によって品質が保証されているため、現場の技術者が直接各材料の試験をするということは少ないですが、現場の技術者は材料の試験を実施することの意義を良く理解し、また、試験成績書等に記載された数字の意味を十分に把握することが必要ではないかと思われまます。

本稿では枚数が限られているため、説明不十分のところが多々あります。また、重要な点を見逃しているかも知れません。試験の詳細についてはJIS、規準等を参照していただきたいと思います。

最後に、本稿をまとめるにあたり、以下の文献を参考にさせていただいたことを付記して、第2回目の講座を終わります。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書[平成3年版]施工編
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[平成6年版]規準編
- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー66「プレストレストコンクリート工法設計施工指針」
- 4) 日本規格協会：JISハンドブック 土木，1995年版
- 5) 日本規格協会：JISハンドブック 鉄鋼Ⅰ，1995年版
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成6年
- 7) 日本道路協会：コンクリート道路橋施工便覧，昭和59年
- 8) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，1993年
- 9) 日本コンクリート工学協会編：コンクリート便覧，技報堂
- 10) プレストレストコンクリート建設業協会：PCグラウト施工マニュアル
- 11) 国分正胤編：土木材料実験，技報堂
- 12) 笠井芳夫・池田尚治編著：コンクリートの試験方法上・下，技術書院
- 13) 村田二郎：コンクリート技術100講，山海堂