

第3回 PC構造物の材料（その1）

講師：伊藤 朋紀*

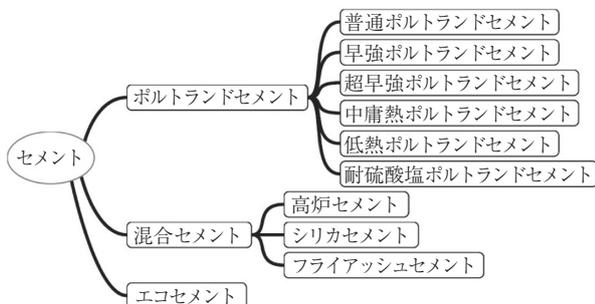
1. はじめに

今回のテーマはPC構造物の材料です。構造物の施工においては、施工方法を適切に計画することが重要ですが、そのためには、使用材料やコンクリートの特性を良く理解する必要があります。

PC構造物の主な使用材料は、コンクリート（セメント、骨材、混和材料、水）と補強材（鉄筋やPC鋼材など）です。今回（その1）ではこれらの材料の種類と特徴について、次回（その2）では配合（調合）と硬化したコンクリートの特性について解説します。

2. セメントの種類と特徴

セメントは日本工業規格（以下JIS）で規定されており、ポルトランドセメント、混合セメント、エコセメントに区分されています（図-1）。



（ポルトランドセメントにはそれぞれ低アルカリ形があります）

図-1 セメントの種類

2.1 ポルトランドセメント

JIS R 5210で規定されているポルトランドセメントには、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、超早強ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメント、耐硫酸塩ポルトランドセメントがあります。コンクリートの強度発現は、施工工程に大きな影響を与えます。PC橋の場合、早期にプレストレスを導入するために早強ポルトランドセメントを用いることが一般的です。工程への影響が小さいときは普通

ポルトランドセメントを使用したり、部材寸法が大きく、水和熱によるコンクリートの温度上昇を抑制する必要があるときは、中庸熱ポルトランドセメントや低熱ポルトランドセメントを使用する場合があります。

以下に、それぞれのポルトランドセメントの強度特性や用途などについて述べていきます。

(1) 普通ポルトランドセメント

普通ポルトランドセメントは、土木や建築工事、各種コンクリート製品などもっとも多く使用されているセメントです。使用量は全セメントの70%を占めています。2003年11月より普通ポルトランドセメントに含まれる塩化物イオン量の規格値が、0.02%以下から0.035%以下に引き上げられました。これは、セメントが循環型社会に貢献するために、セメント原料に含まれる廃棄物の増加に対応し、塩分量が緩和されたためです。ただし、レディーミクストコンクリートの荷下ろし時点の塩化物イオン量規定値は0.30 kg/m³以下と緩和されていないため、塩害に対する安全性は確保されています。

(2) 早強ポルトランドセメント

早強ポルトランドセメントは、材齢3日で普通ポルトランドセメントの材齢7日強度に相当する強度が得られ、さらに長期にわたって強度増進を示します。

一般にプレストレスを早期に導入したいPC構造物に使用されています。

(3) 超早強ポルトランドセメント

超早強ポルトランドセメントは、材齢1日で普通ポルトランドセメントの材齢7日強度に相当する強度が得られます。緊急工事や工期短縮のために使用されます。

(4) 中庸熱ポルトランドセメント

中庸熱ポルトランドセメントは、水和熱を低減するために化合物量を調整しており、初期強度（材齢7日程度まで）は小さいが、長期強度が大きいセメントです。ダムや大規模な橋脚工事などのマスコンクリートに使用されます。

(5) 低熱ポルトランドセメント

低熱ポルトランドセメントは、中庸熱ポルトランドセメントよりさらに水和熱を抑制したもので、初期強度は小さいが、長期強度が大きいセメントです。マスコンクリー

* Tomoki ITOU：(株) 安部日鋼工業 技術工務本部 技術開発部

ト、高強度コンクリート、高流動コンクリートに使用されます。

(6) 耐硫酸塩ポルトランドセメント

耐硫酸塩ポルトランドセメントは硫酸塩との反応を小さくしたセメントです。海洋構造物や温泉地帯の構造物に使用されます。

2.2 混合セメント

JISで規定されている混合セメントには、高炉セメント (JIS R 5211)、シリカセメント (JIS R 5212)、フライアッシュセメント (JIS R 5213) があります。以下にそれぞれの混合セメントの特徴を述べます。

(1) 高炉セメント

高炉セメントは、高炉スラグとポルトランドセメントクリンカーに少量の石こうを混ぜ合わせたセメントで、初期強度は小さいが、長期強度が大きいセメントです。水和熱が小さく、化学抵抗性、耐熱性、水密性、アルカリ骨材反応抑制効果に優れ、一般のコンクリート工事に広く使われています。

高炉セメントは混合する高炉スラグの分量により A 種 (5 ~ 30 % 以下)、B 種 (30 ~ 60 % 以下)、C 種 (60 ~ 70 % 以下) に分類されます。高炉セメント B 種または C 種を用いると、アルカリ骨材反応を抑制する効果が期待できます。また、高炉スラグには、潜在水硬性という性質があります。水硬性とは、水と反応して硬化する性質です。潜在水硬性とは、水を混ぜただけでは反応せず、アルカリ性の刺激により硬化する性質で、これにより、長期にわたり強度が増進します。

(2) シリカセメント

シリカセメントは、純度の高いけい石などの粉末を混合したもので、オートクレーブ養生するコンクリート製品に使用されます。なお、オートクレーブ養生とは、10 気圧 180℃ の高圧の蒸気がまの中で養生する促進養生のひとつで、初期材齢において十分に高い強度が得られます。

(3) フライアッシュセメント

フライアッシュセメントは微粉炭を燃焼したときに生ずるフライアッシュを混合したもので、乾燥収縮や水和熱が小さいセメントです。マスコンクリートに使用されます。

フライアッシュセメントは混合するフライアッシュの分量により A 種 (5 ~ 10 % 以下)、B 種 (10 ~ 20 % 以下)、C 種 (20 ~ 30 % 以下) に分類されます。フライアッシュセメントの B 種または C 種を用いると、アルカリ骨材反応を抑制する効果が期待できます。また、フライアッシュにはポゾラン反応性という性質があります。ポゾラン反応性とは、水を混ぜただけでは反応せず、フライアッシュに含まれる可溶性のシリカが、セメントの水和で生成される水酸化カルシウムと反応して、不溶性のシリカ質化合物を生成する性質で、これにより長期にわたり強度が増進します。

3. 骨材の種類と特徴

骨材とは、砂や砂利のことで、自然な砂利や砂を用いた天然骨材と、岩石を砕いた砕砂、採石や人為的に作られた

軽量骨材、スラグ骨材、重量骨材などの人工骨材があります。

セメントペーストだけでは水和熱が大きくなり、また、自己収縮量および乾燥収縮量が非常に大きくなるため、これを緩和するために骨材を入れます。また、経済的な理由から高価なセメントの分量を減らすために骨材を入れます。骨材はコンクリート体積の約 7 割を占めるので、その品質がコンクリートに大きな影響を与えます。

骨材は粒径により、粗骨材と細骨材に分類されます。粗骨材は 5 mm ふるいに質量で 85 % 以上とどまる骨材と定義され、細骨材は 10 mm ふるいを全部通り 5 mm ふるいを質量で 85 % 以上通る骨材と定義されています (図 - 2)。

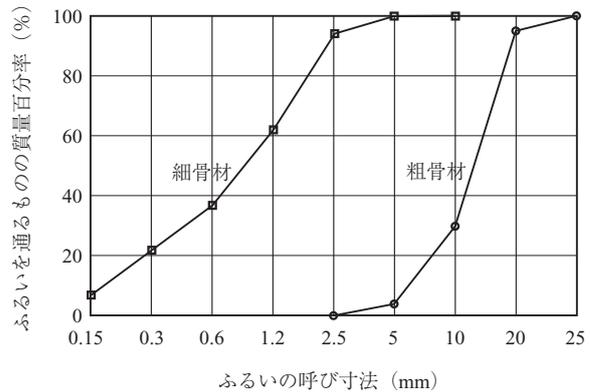


図 - 2 骨材の粒度分布の例

4. 混和材料の種類と特徴

混和材料は、ワーカビリティ^{a)}を確保しつつ単位水量を減らす、硬化の時間を速く (遅く) する、水和熱の発生を緩和する、収縮量を減らすなどコンクリートの性質を改善するため、練混ぜの際あるいは、打込みを行う前に加える材料です。混和材料には、混和剤と混和材があります。必ずしも明確ではありませんが、一般には使用量の多少によって、混和剤と混和材に区分され、薬品的に少量用いられるものが混和剤、それ自体の容積がコンクリートの練り上がり容積に算入されるものが混和材と呼ばれています (図 - 3)。

PC 構造物には、比較的強度が高いコンクリートが使用されるため、単位水量の減少、収縮量の減少、ワーカビリティの向上など、さまざまな目的で混和材料が用いられます。

4.1 混和剤

JIS A 6204 (コンクリート用化学混和剤) で規定されている混和剤には、AE 剤、減水剤、AE 減水剤、高性能減水剤、高性能 AE 減水剤、流動化剤、硬化促進剤があります。混和剤の主成分は界面活性剤と呼ばれる化学物質で、溶液に融けると界面の表面張力を著しく減少させ、気泡作用や分散作用が生じます。以下にそれぞれの特徴を述べます。

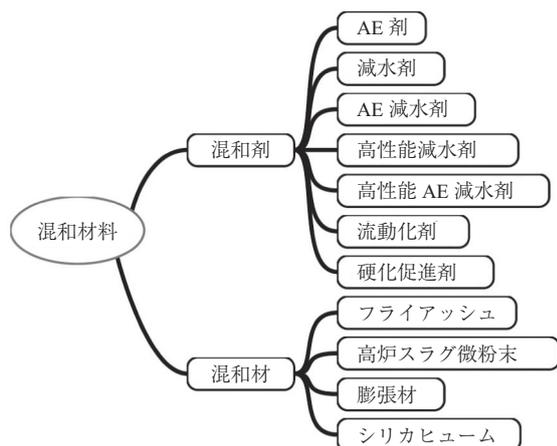


図 - 3 混和材料の種類

(1) AE 剤

AE 剤は、コンクリート中に多くの独立した微細な空気泡（エントレインドエア）を混入させることができ、ワーカビリティや耐凍害性を向上させることができます。AE 剤を用いないコンクリートでも、練混ぜ中に 1～2% の気泡が自然に取り込まれます。この気泡はエントラップドエアと呼ばれますが、気泡径が大きく、形状も不整なため、ワーカビリティや凍結融解の繰返し作用に対する抵抗性（耐凍害性）の向上効果は期待できません。

(2) 減水剤

減水剤は、水に接すると凝集しようとするセメント粒子に吸着して、静電的な反発力により、それらを分散させる働きをします（図 - 4）。これによりコンクリートのワーカビリティが向上し、所要のコンシステンシー^{b)}および強度を得るのに必要な単位水量および単位セメント量を減少させることができます。

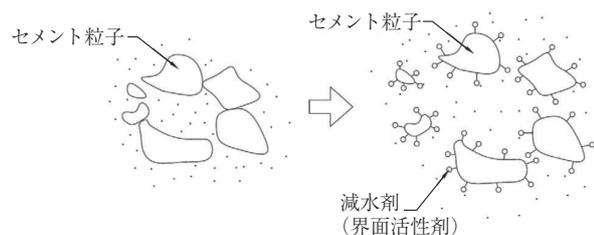


図 - 4 減水剤の効果

(3) AE 減水剤

AE 減水剤は、AE 剤と減水剤の特徴を併せもつものです。減水剤よりも減水効果が向上し、耐凍害性が著しく増大します。

(4) 高性能減水剤

高性能減水剤は、文字通り性能が高い減水剤です。大幅な減水効果が容易に得られます。セメントの水和反応を阻害せず、気泡作用もないので、多量に使用してもコンクリートの凝結は遅延せず、空気量もほとんど増加しません。

(5) 高性能 AE 減水剤

高性能 AE 減水剤は、高い減水作用と優れたスランプ保持機能が得られます。AE 減水剤よりも減水率が大きく、単位水量を 10 kg/m³ 以上低減することができます。この高い減水性を利用して、圧縮強度 100 N/mm² 以上の高強度コンクリートの製造が可能となります。

(6) 流動化剤

流動化剤は、あらかじめ練り混ぜられたコンクリートにあとから添加する混和剤で、水量を増やさずにコンクリートを流動化させて、打ち込みやすいコンクリートにします。遅延型の流動化剤は、暑中コンクリートなどで凝結を遅らせ、流動化後のスランプロスを低減することができます。

(7) 硬化促進剤

硬化促進剤は、コンクリートの硬化を促進し、初期強度の発現を良好にするもので、型枠存置期間の短縮、寒冷時のコンクリートの初期凍害防止などに使用されます。

4.2 混和材

JIS で規定されている混和材には、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、膨張材、シリカヒュームがあります。以下にそれぞれの混和材の特徴を述べます。

(1) フライアッシュ

フライアッシュは、石炭火力発電所の微粉炭燃焼の際の副産物です。その品質は微粉炭の品質、燃焼条件および捕集条件などによってかなり相違するため、JIS A 6201（コンクリート用フライアッシュ）に品質が規定されています。フライアッシュ自体に水硬性はなく、ポズラン反応があるため長期にわたって強度が増進し、水密性や耐久性が向上します。フライアッシュの粒はほぼ球形をしているとともに表面が滑らかであるため、コンクリートのワーカビリティを改善する効果も大きくなります。また、セメント水和熱の発生が緩和されるため、マスコンクリートに適しています。ただし、フライアッシュを用いたコンクリートの問題点の一つとして、フライアッシュ中の未燃炭素の存在によって空気連行性が低下することが指摘されています。対策としてフライアッシュ用 AE 剤を使用すれば、安定した品質のコンクリートが製造できます。

(2) 高炉スラグ微粉末

高炉スラグ微粉末は、高炉から排出された熔融状態のスラグを急冷して粒状体とし、これを微粉碎したものです。JIS A 6206（コンクリート用高炉スラグ微粉末）にその品質が規定されています。高炉スラグ微粉末は潜在水硬性があるので、十分に湿潤養生すれば長期にわたり強度が増進します。図 - 5 に示すとおり置換率 0% のコンクリートに対し、高炉スラグを置換したものは材齢 91 日以降も圧縮強度が増加していることが分かります。

(3) 膨張材

膨張材は、セメントおよび水とともに練り混ぜ、水和反応によってエトリンガイトあるいは水酸化カルシウムの結晶を生成して、その結晶成長あるいは生成量の増大によりモルタルまたはコンクリートを膨張させる作用をもつ混和材です。JIS A 6202（コンクリート用膨張材）にその品質

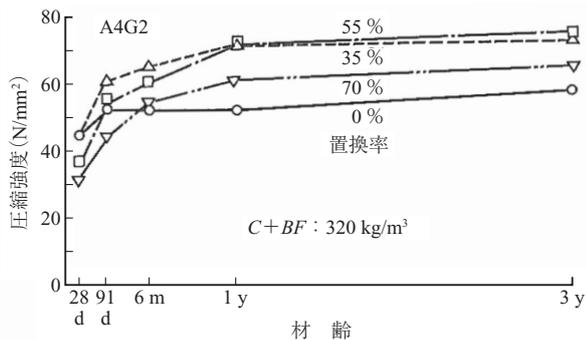


図 - 5 圧縮強度の経時変化³⁾

が規定されています。膨張材を混入したコンクリートを一般に膨張コンクリートと呼びます。コンクリートの乾燥収縮や自己収縮を補償し、ひび割れを低減することを目的としたものを収縮補償コンクリートといい、さらに膨張材を混和してコンクリートの膨張力を鉄筋などで拘束しケミカルプレストレスを導入したものをケミカルプレストレストコンクリートといいます。

(4) シリカフューム

シリカフュームは、フェロシリコンやフェロシリコン合金を製造する際の副産物です。JIS A 6207 (コンクリート用シリカフューム) にその品質が規定されています。セメントと質量で 10 ~ 20 % 置換したコンクリートは、高性能 AE 減水剤などと併用することにより所要の流動性が得られ、しかもブリーディングや材料分離の小さいコンクリートとなります。また、シリカフュームがセメント粒子の間に充てんされて (マイクロファイラー効果)、コンクリートの圧縮強度として 120 ~ 270 N/mm² が得られます。一般には、高強度コンクリートに用いられます。

5. 水の種類と特徴

コンクリートの練混ぜ水は、一般に上水道水、下水道水以外の水 (河川水、湖沼水、地下水など)、および回収水が用いられています。上水道水は、通常であれば試験を行わなくても使用でき、下水道水以外の水は JIS に規定されている品質基準に適合したものが使用されます。回収水は、レディーミクストコンクリート工場の運搬車やミキサーなどの洗浄水から骨材を除いた水のことで、JIS に適合したものが使用されます。なお、JASS5 では、計画供用期間が長期の級のコンクリートおよび高強度コンクリートでは、回収水を使用しないよう規定しています。

6. 補強材の種類と特徴

コンクリートは圧縮強度と比べて引張強度がきわめて小さい (圧縮強度の 1/10 ~ 1/13 程度) ため、構造部材に利用するために補強材が使用されます。補強材の種類には鉄筋、PC 鋼材などの鋼材のほか、連続繊維補強材 (FRP) などがあります (図 - 6)。

6.1 鉄筋

鉄筋がコンクリートの補強鋼材として適するのは、熱膨

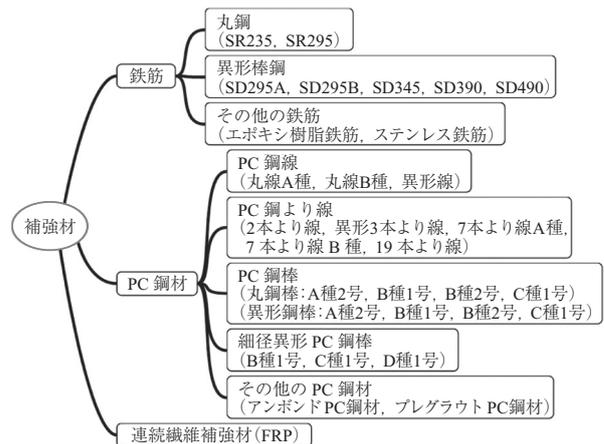


図 - 6 補強材の種類

張係数がコンクリートとほぼ等しいため温度変化による内部応力の発生がなく、また、コンクリートはアルカリ性であるため鉄筋の腐食を防止するためです。JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼) では、図 - 6 に示す丸鋼および異形棒鋼の 7 種類の鉄筋について種類、機械的性質が規定されています。ここで、SR は丸鋼、SD は異形棒鋼を表し、235 や 295 はそれぞれ降伏点を表しています。また、D 6 ~ D 51 までについて鉄筋の寸法、重量および節の許容限度が規定されています。

最近、土木では構造物の大型化にともない、D 51 を超える太径の鉄筋を使用する場合も多くなっており、土木学会規準 JSCE-E 121 (鉄筋コンクリート用太径ねじ節鉄筋 D 57 および D 64 品質規格 (案)) に D 57 と D 64 の品質が規定されています。

海岸・海洋構造物や冬季に凍結防止剤が使用される橋梁のような、塩化物イオンが多量に存在し、厳しい腐食性環境下の構造物に対し、防食性能を持つエポキシ樹脂塗装鉄筋や耐久性に優れたステンレス鉄筋が用いられる場合があります。

6.2 PC 鋼材

コンクリートにプレストレスを与えるために、PC 鋼材が使用されます。PC 鋼材に要求される特性として、引張強さ、弾性限界および降伏点が高い、破断時伸びが大きい、じん性が高いなどがあげられ、PC 鋼材は、これらの性能が安定したものである必要があります。また、コンクリートとの付着性が良く、鋼材の表面に有害な錆が無い状態でなければなりません。PC 鋼材の品質は、JIS G 3536 (PC 鋼線および PC 鋼より線)、JIS G 3109 (PC 鋼棒)、JIS G 3137 (細径異形 PC 鋼棒) に定められています。これらの PC 鋼材は、現在大量に製造されて一般的に使用されているものであり、品質特性の確認が十分に行われています。通常、これらの規格に適合する PC 鋼材を使用することを原則としています。JIS では、3 種類の PC 鋼線と 5 種類の PC 鋼より線について、種類、機械的性質および寸法を規定しています。また、8 種類の PC 鋼棒と 3 種類の細径異形 PC 鋼棒について、種類、機械的性質および寸法を規定しています。なお、PC 鋼線、PC 鋼より線および細径

PC 鋼棒には、通常品とそれよりリラクセーション率の小さい低リラクセーション品があります。

以下に PC 鋼材の特徴および設計に用いる特性値について述べます。

(1) 応力-ひずみ曲線

PC 鋼材を徐々に引っ張ると、応力とひずみは一般に図-7のような関係を示します。PC 鋼材には鉄筋のような明瞭な降伏点が見られないので、永久ひずみが 0.2% に達したときの荷重を断面積で除して求めた耐力を、降伏点の代用としています。

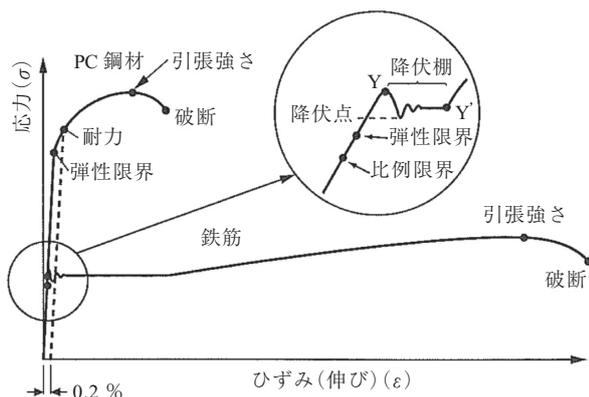


図-7 鋼材の応力-ひずみ(伸び)曲線²⁾

(2) ヤング係数

一般に鋼材のヤング係数は測定方法などの要因でばらつきますが、 $1.9 \sim 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ の範囲にあります。しかし、一般に鋼材のヤング係数の値の相違が、部材断面の応力度、部材の変形などの計算結果に及ぼす影響は比較的小さく、設計に用いる値は $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ としています。

(3) ポアソン比

物体に軸方向の力を加えると、縦方向ひずみと横方向ひずみが生じますが、その比をポアソン比(横/縦比)といいます。PC 鋼材のポアソン比は、測定方法などの要因で測定値にばらつきがありますが、一般に 0.3 としています。

(4) 熱膨張係数

鋼材の熱膨張係数は一般にコンクリートの熱膨張係数と同じで、 $10 \times 10^{-6}/\text{℃}$ としています。

(5) リラクセーション率

PC 鋼材のリラクセーション率とは、ひずみ一定のもとで起こる引張応力度の減少量を、最初に与えた PC 鋼材引張応力度に対する百分率で表した値をいいます。一般にプレストレスの減少量を計算するために用いる PC 鋼材の見かけのリラクセーション率は、PC 鋼線および PC 鋼より線で通常品 5%、低リラクセーション品 1.5% とし、PC 鋼棒は 3% としますが、PC 鋼材が高温の影響を受ける場合の見かけのリラクセーション率は、通常品で 2% を、低リラクセーション品で 1% をそれぞれ加算します。

6.3 その他の PC 鋼材

(1) アンボンド PC 鋼材

現場におけるグラウト作業の省力化を図るために、コン

クリートと PC 鋼材との間に付着を生じさせないアンボンド工法があります。あらかじめシングルストランドケーブルにグリスなどの防錆剤を塗布し、その外周にポリエチレン被覆を施すことによって高い防食性を確保したアンボンド PC 鋼材が使用されます。防錆剤が PC 鋼材とシースとの摩擦を減少させるため、摩擦による PC 鋼材緊張力の減少量が小さくなります。PC 構造物においては、アンボンド PC 鋼材は建築構造物に多く用いられています。PC 橋では PC 箱桁の外ケーブルにアンボンド PC 鋼材を用いた事例があります。

(2) プレグラウト PC 鋼材

プレグラウト PC 鋼材は、鋼材の表面に未硬化の遅延硬化型エポキシ樹脂を塗布したうえに、高密度ポリエチレンで被覆し、その表面を凹凸形状に加工したものです。アンボンド PC 鋼材と同様に、樹脂には PC 鋼材とシースとの摩擦を減少させる効果があります。この樹脂は硬化速度が温度の影響を受けやすい熱硬化型樹脂と、影響を受けにくい湿気硬化型樹脂に分けられ、高い温度の影響を受けやすい場所では、湿気硬化型樹脂を選定します。樹脂は、緊張作業中は未硬化の状態を維持し、その後硬化し、コンクリートと一体化します。したがって、現場でのグラウト作業が不要となります。そのため、PC 鋼材の本数が多く配置される PC 橋の床版や横桁の横締め鋼材などに用いられています。PC 版桁橋などの主ケーブルに用いる場合もあります。

6.4 FRP (連続繊維補強材)

FRP (連続繊維補強材)とは、炭素繊維、アラミド繊維、ビニロン繊維、ガラス繊維などの連続繊維とエポキシ樹脂などの合成樹脂を組み合わせたものです。棒状に固めて鉄筋や PC 鋼材の代わりに用いるものと、連続繊維をシート状に成形して主にコンクリート部材の補修や補強に用いるものがありますが、ここでは前者について説明します。なお、FRP を鉄筋の代替として用いる場合は連続繊維補強筋と呼び、PC 鋼材の代替として用いる場合は連続繊維緊張材と呼びます。

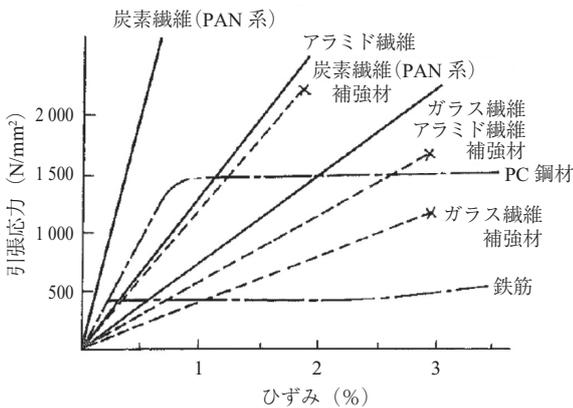
FRP はきわめて軽量で、引張強度が PC 鋼材と同等ないし 1.5 倍程度、一般的に鋼材のような腐食の問題がなく厳しい環境に適用できるといった利点があります。一方、降伏域がなく部材の曲げ破壊が脆性的になる、一般的に耐火性能が鋼材よりも低いといった課題があります。

ヤング係数については $0.3 \sim 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ で、鋼材とほぼ同じものから 1/7 程度のものであります。ヤング係数が小さい緊張材を用いてプレストレスを与える場合には、コンクリートのクリープ・乾燥収縮によるプレストレスの減少を小さくでき、効率的にプレストレスが導入できます(図-8)。

7. 演習問題

今回の講座のまとめとして、○×形式の演習問題を用意しましたので、チャレンジしてみてください(PC 技士試験における過去問題を一部アレンジしています)。

① 中庸熱ポルトランドセメントは、水和熱を低減するた



(ここで、繊維は各繊維単体の数値、繊維補強材は補強筋の数値)

図 - 8 連続繊維補強材の応力-ひずみ曲線²⁾

めに化合物量を調整しており、初期強度は小さいが、長期強度は大きい。

- ② 高炉セメントは、スラグの潜在水硬性を有し、普通ポルトランドセメントに比べて初期強度が高くなる。
- ③ 早強ポルトランドセメントは、普通ポルトランドセメントに比べて早期に高い強度を発現するが、長期の強度増進は見込めない。
- ④ 高炉セメントには高炉スラグの混合率により A 種、B 種 C 種の 3 種類があり、高炉セメント C 種を用いると、アルカリシリカ反応を抑制する効果を期待できる。
- ⑤ 低熱ポルトランドセメントは、水和発熱量を抑制したもので、初期材齢ならびに長期材齢における強度発現が普通ポルトランドセメントに比べて小さい。
- ⑥ フライアッシュは、それ自体、水硬性はないが、セメント水和生成物の水酸化カルシウムとのポズラン反応により組織を緻密にし、長期強度の増進が期待できる。
- ⑦ シリカフュームは、フライアッシュよりも細かい粉体であり、マイクロファイラー効果によりコンクリートの高強度化に寄与する。
- ⑧ 膨張材は、他のコンクリート構成材料と一緒に練り混ぜる混和材でありコンクリート中に空気泡を形成して膨張を生じさせる。
- ⑨ 耐凍害性を向上させるためには、AE 剤や AE 減水剤を使用してエントレインドエアをコンクリート中に分布させることが有効である。
- ⑩ PC 鋼材の応力-ひずみ関係においては鉄筋のような明

瞭な降伏点が見られないので、0.2%の永久ひずみを生じる応力を PC 鋼材の耐力と呼び、降伏点の代用としている。

- ⑪ PC 鋼材の熱膨張係数は、一般に、コンクリートの熱膨張係数と同じと考えてよい。
- ⑫ 鉄筋コンクリート用棒鋼の鋼材記号が SR235 の場合、SR は普通丸鋼を、235 は降伏点の下限値を表している。
- ⑬ PC 鋼材のヤング係数は鉄筋と同等であるが、鉄筋に比べて PC 鋼材は引張強度が高いため、破断時の伸びは鉄筋よりも大きい。
- ⑭ 炭素繊維およびアラミド繊維を用いた緊張材は、PC 鋼材に比べて剛性が小さく、コンクリートのクリープ乾燥収縮によるプレストレスの減少を小さくできる。
- ⑮ 高い温度の影響を受けやすい場所でプレグラウト PC 鋼材を使用する場合、熱硬化タイプを選定し、樹脂を確実に硬化させるのがよい。

【演習問題の解答】

- ① ○ ② × ③ × ④ ○ ⑤ × ⑥ ○ ⑦ ○ ⑧ × ⑨ ○ ⑩ ○
- ⑪ ○ ⑫ ○ ⑬ × ⑭ ○ ⑮ ×

8. おわりに

PC 構造物に使用される材料に関し、今回はセメント、骨材、混和材料、水、補強材の種類と特徴について解説しました。次回は配合(調合)と硬化したコンクリートの特性について解説します。

注

- a) ワークアビリティ：材料分離を生じることなく、運搬、打込み、締固め、仕上げなどの作業が容易にできる程度を表すフレッシュコンクリートの性質。
- b) コンシステンシー：主として水量の多少によって左右されるフレッシュコンクリートの変形または流動に対する抵抗性

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：プレレストコンクリート技術, 2011.7
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'11, 2011.9
- 3) 遠藤裕悦・児玉和巳・高田 誠：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの長期強度に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 11-1, 1989

【2012年11月27日受付】