

# 三協Mirai News



2016年春号 No. 13

三協Miraiからお届けする、技術情報ニュースです



- シリーズ「歴史」 鉄筋(鉄筋コンクリート用棒鋼)
- 特集 コンクリートの収縮
- 技術ニュース JASS 5-2015 改定の要点
- 日本のコンクリート構造物

# 鉄筋(鉄筋コンクリート用棒鋼)

## ■鉄筋の歴史

近代的な鉄の生産は、1713年にイギリスのダービーが発明したコークス製鉄法に遡ります。その後、1766年に反射炉が1784年にはパドル法の発明と進化を続け、1855年にベッセマー製鋼法が発明され鋼鉄時代が始まります。鉄の丸棒は、17世紀には圧延した帯筋を細切り機で切って造られていましたが、1766年に丸棒などの圧延機の特許が出され、その後パドル圧延法や蒸気機関による圧延法などが開発され、1800年代には鉄の丸棒(丸鋼)の近代的製造が始まりました。

日本では1901年(明治34年)に官営の八幡製鉄所が造られ、丸鋼の生産が開始されました。八幡製鉄所が造られたのは西欧に遅れること約1世紀経っており、すでに鋼の時代に入っていました。そのため八幡製鉄所では、当初から丸鋼が生産されました。

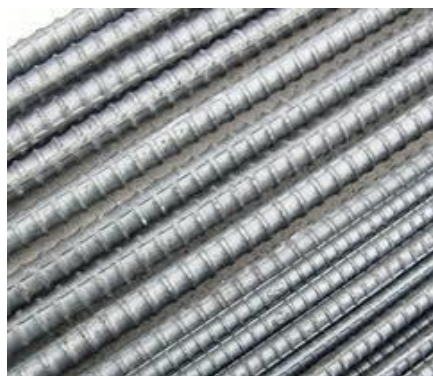


丸鋼

1902年の八幡製鉄の鋼材の生産量は約24,000 tで、そのうち丸鋼は620 tでした。当時は輸入鋼材のほうが安く、国産の5倍近い鋼材が輸入されていました。そのため、当

初は鉄筋コンクリート構造物に用いる丸鋼も輸入品が用いられていました。国産の丸鋼が使われ始めたのは、1910年頃からといわれています。

丸鋼が鉄筋コンクリートに用いられるようになると、コンクリートと鉄筋の付着力を大きくするために、鉄筋の表面に「リブ」や「節」と呼ばれる凹凸の突起を設けた異形鉄筋が考案されました。最初に異形鉄筋が市販されたのは1880年代後半で、考案者の名前をとってサッチャーバーとよばれました。その後いろいろな形状の異形鉄筋が考案、製造されるようになりました。



異形鉄筋

日本では1900年代からアメリカから輸入した異形鉄筋を用いていました。しかし1923年9月に関東大震災が発生し、建設途中で完成目前の内外ビルディングが全壊し、作業員300人以上が犠牲となりました。この内外ビルディングでは異形鉄筋を用いていたことから異形鉄筋に疑問がもたれ、鉄筋コンクリートに使われる鉄筋は丸鋼に逆戻りし、第二次世界大戦の終了まで異形鉄筋は用いられませ

んでした。異形鉄筋を用いたビルが崩壊したのは、鉄筋の定着不足、柱・はり接合部の不適切な設計、使用した異形鉄筋の伸び能力が丸鋼に比べて小さかったことなどが原因と考えられています。



関東大震災で全壊した内外ビルディング

第二次大戦終了後は異形鉄筋が製造されるようになり、1949年には愛知製鋼株が異形鉄筋の製造を本格的に開始し、主に米軍施設や占領下の沖縄で使用されました。1953年にはJIS G 3110「異形丸鋼」が制定され、1964年にはJIS G3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」が制定され、丸鋼と異形棒鋼が規定されました。

## ■鉄筋の製造

JIS G 3112に基づいて製造される鉄筋は高炉鉄筋と電炉鉄筋に大別できます。

高炉鉄筋は鉄鉱石を原料として、高炉メーカーによって高炉→転炉→圧延という銑鋼一貫の工程で製造されるものです。電気炉鉄筋は鉄くずを原料として、電気炉メーカーによって鉄くずを精錬→圧延して製造されるものです。2012年の統計では、電炉鉄筋の生産量は、総生産量の99%を占めています。これは安価な鉄くずを用いて製造でき、資源の再利用が図れることによります。ただし、鉄筋の品質面では、切欠き靱性、ガス圧接性などは高炉鉄筋より若干劣ります。

## ■防食鉄筋

1970年代から、鉄筋コンクリート構造物において、塩分による鉄筋の腐食が問題となってきました。これらは「塩害」とよばれ、鉄筋コンクリート構造物の早期劣化を招くために対策が検討されてきました。この対策の一つとして防食性のある鉄筋の開発が行われてきました。それらについてご紹介します。

### ・溶融亜鉛メッキ鉄筋

熱を加え溶融させた亜鉛に鉄筋を浸漬し、鉄筋表面に亜鉛の被覆を形成させた鉄筋。他の防食鉄筋に比べて安価なことから、沖縄県などでは橋梁などで使用されている。

### ・エポキシ樹脂塗装鉄筋

鉄筋の表面にエポキシ樹脂を静電粉体塗装したもので、鉄筋の耐久性を大幅に改善できる。土木学会では「エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した鉄筋コンクリートの設計施工指針（案）」が制定されている。



エポキシ樹脂塗装鉄筋

### ・ステンレス鉄筋

ステンレス鋼で製造した耐食性に優れた異形鉄筋。普通鉄筋に比べて格段に高い耐久性を確保できるが、素材コストが高い。2008年に「JIS G 4322 鉄筋コンクリート用ステンレス異形棒鋼」が制定されている。

### ・耐塩性鉄筋

鉄筋成分中にニッケルやタングステンを追加した鉄筋。緻密なさび層を表面に形成させることで、さらなる鋼材の腐食を抑制する。指針や規定はまだ定められていない。



特集

# コンクリートの収縮

## コンクリートの収縮とは

コンクリートの収縮には、乾燥収縮と自己収縮があります。その他に炭酸化による収縮もありますが、本稿ではコンクリート構造物に影響の大きい乾燥収縮と自己収縮について取り上げます。

乾燥収縮は、コンクリートが乾燥を受けて硬化体中の水分が逸散し、収縮する現象です。

自己収縮は、乾燥収縮のように水分の逸散によって生じる収縮ではなく、セメントの水和反応により水分が消費されコンクリートの体積が減少して収縮する現象です。これらの二つについて詳しく述べていきます。

## 乾燥収縮

### ・乾燥収縮のメカニズム

乾燥収縮のメカニズムとしては、以下のよう理論が提案されています。

#### ①毛細管張力説

乾燥によって毛細管空隙中の水が蒸発すると、毛細管空隙を縮めようとして毛細管張力（引張応力）が働き硬化体に体積減少を生じさせる。

#### ②表面張力説

セメントゲル中の吸着水が乾燥によって失われることによって、ゲル粒子の表面張力が高くなる。これによりゲル粒子の圧縮力が増加し、体積減少が生じる。

#### ③膨張圧説

ゲル粒子の吸着水の層厚は、粒子間の距離が比較的小さい場合この粒子間距離によって決まることがある。この時、粒子間には膨

張圧が作用しゲル粒子は引き離されているが、乾燥時にはその圧力の一部が解放されて、ゲル粒子間の距離が減少し、体積減少が生じる。

#### ④層間水移動説

層状構造のゲル粒子間に水が出入りすることにより層間隔が変化し、体積減少を生じさせる。

### ・乾燥収縮に影響する要因

乾燥収縮は、コンクリートの材料、配・調合などに影響を受けます。それらの影響について述べていきます。

#### ①セメントの種類

一般にセメント中のC<sub>3</sub>Aの含有量が多いほど、セメントの粉末度が細かいほど、乾燥収縮は大きくなります。セメントの種類別の乾燥収縮（長さ変化率）を図-1に示しますが、中庸熟ポルトランドセメントが最も小さく、高炉セメントB種では大きな値となっています。

表-1 セメントの種類と収縮

セメントの種類	長さ変化率 ( $\times 10^{-4}$ )	重量減少率(%)
中庸熟ポルトランド	12.2 $\pm$ 0.5	10.2 $\pm$ 0.1
フライアッシュ	12.9 $\pm$ 1.4	9.8 $\pm$ 0.7
早強ポルトランド	15.2 $\pm$ 1.5	8.7 $\pm$ 0.5
普通ポルトランド	16.3 $\pm$ 1.7	9.2 $\pm$ 0.4
シリカセメント	17.2 $\pm$ 1.7	9.8 $\pm$ 0.2
高炉セメント(A)	18.4 $\pm$ 3.2	9.4 $\pm$ 0.7
高炉セメント(B)	22.5 $\pm$ 2.3	9.3 $\pm$ 0.5

#### ②コンクリートの配・調合

乾燥収縮は、単位水量が大きくなるほど、単位セメント量が多いほど大きくなります。

#### ③骨材の性質

図-1に示すように、骨材の弾性係数が小さ

いほど、コンクリートの乾燥収縮は大きくなります。また、骨材の表面性状、吸水特性、なども乾燥収縮に影響します。

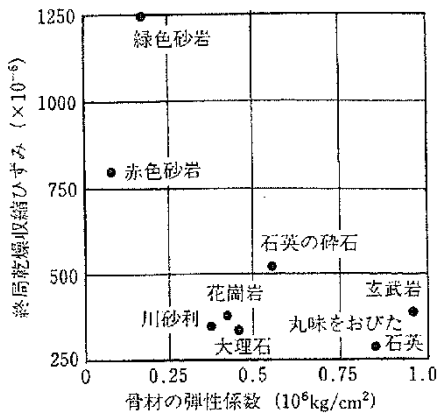


図-1 骨材の弾性係数と乾燥収縮最終値

### ③混和材料

粉末状の混和材料は、材料の品質によっては単位水量が大きくなるため、乾燥収縮が大きくなる場合があります。凝結遅延剤の多くは乾燥収縮を減少させます。また塩化カルシウムなどの硬化促進剤は乾燥収縮を増大させます。

## 自己収縮

自己収縮は、前述のようにセメントの水和反応により生じる体積減少です。そのメカニズムは、乾燥収縮における水の移動や逸散とは異なりますが、乾燥収縮における毛細管張力による収縮と基本的に同じであるといわれています。

日本コンクリート工学会の自己収縮研究委員会では、自己収縮を次のように定義しています。

「セメント系材料において、セメントの水和により凝結始発以前に巨視的に生じる体積減少を自己収縮という。自己収縮には、物質の侵入や逸散、温度変化、外力や外部拘束に起因する体積変化は含まれない。」

自己収縮は、1940年にDavisにより報告された現象ですが、普通のコンクリートでは自

己収縮の大きさは、乾燥収縮の1/10程度の値であり、実用上は乾燥収縮と区別する必要はないとされ、その後ほとんど研究されることはありませんでした。

しかし、高性能減水剤やシリカフュームなどを用いて、水結合材比が極めて小さい高強度コンクリートが実用化されたことにより、自己収縮が注目されるようになりました。

図-2は普通コンクリートと高強度コンクリートの乾燥収縮と自己収縮の関係を模式的に示したものです。普通コンクリートでは収縮の大部分は乾燥収縮が占めており、全収縮＝乾燥収縮としても実用上大きな問題がないことが分かります。一方、高強度コンクリートでは硬化体の組織が緻密になることにより、自己収縮の割合が大きくなります。自己収縮は、水結合材比が小さくなるにしたがって大きくなり、水結合材比が17%のコンクリートでは、収縮の大部分が自己収縮によって占められるという研究結果も報告されています。

自己収縮を低減する方法としては、乾燥収縮の場合と同様に、C<sub>3</sub>Aの含有量の少ないセメントの使用や、収縮低減剤、膨張材の使用が有効です。

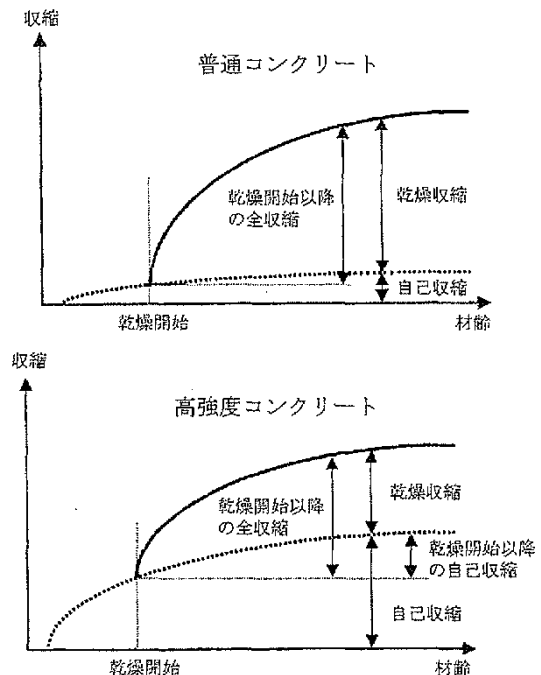


図-2 普通・高強度コンクリートの収縮

## 「JASS 5 鉄筋コンクリート工事」改定の要点

前号に引き続いて、2015年7月に改定された日本建築学会、「建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」の5節から11節の主要な改定点をお知らせします。

### (5) 5節 調合

- ・単位水量および単位粗骨材かさ容積の標準値がそれぞれ  $3\text{ kg/m}^3$ 、 $0.02\text{ m}^3/\text{m}^3$  小さい値に修正された。
- ・計画調合の表し方で普通骨材の質量を、表乾状態で表示することに変更された。

### (6) 6節 コンクリートの発注・製造および受入れ

- ・使用するコンクリートは JIS A 5308 に適合するレディーミクストコンクリートで、①適合性認証済み (JIS マーク表示製品) または②認証を取得していないが適合性が客観的に認められるものとなった。
- ・計量誤差が、計量値の許容差に変更された。

### (7) 7節 コンクリートの運搬・打込みおよび締固め

- ・従来先送りモルタルの品質変化した部分は型枠内に打ち込まないとしていたものを、先送りモルタルは、原則として型枠内に打ち込まず廃棄することに変更された。
- ・打継ぎにおける「計画供用期間の級が長期および超長期の場合の打継ぎ部の処置方法は、特記または設計図書による」との本文の規定が削除された。

### (8) 8節 養生

- ・土木学会コンクリート標準示方書の年号を最新版 (2012) にし、また ISO 22966:2009 が追加された。

### (9) 9節 型枠工事

- ・部材それぞれの許容変形量が  $3\text{ mm}$  程度から  $2\text{ mm}$  程度に修正され、また総変形量は  $5\text{ mm}$  以下が望ましいことが解説に追記された。

### (10) 10節 鉄筋工事

- ・エポキシ樹脂塗装鉄筋の圧接の記述が削除された。
- ・不良圧接部および溶接不良個所の「添え筋による補強」が削除された。

### (11) 11節 品質管理および検査

- ・試験・検査を依頼する機関として「外部の試験機関」の呼び方を「第三者試験機関」に変更し、1節に定義が示された。
- ・従来の JASS 5 の方法以外で構造体コンクリート強度の検査を行う場合については「コンクリートの品質管理指針・同解説」を参考にすることが追記された。



# 日本のコンクリート構造物

## 日本最古の重力式コンクリートダム ー布引五本松ダムー

新神戸駅の北側に位置する布引五本松ダムは、1900年（明治33年）に完成した日本最古の重力式コンクリートダムです。ダムの原案はイギリス人技師のW. K. バルトンによりアースダムとして設計されましたが、日本人技師吉村長策、佐野藤次郎らによって現在のコンクリートダムに設計が変更されました。1995年（平成7年）の阪神淡路大震災で一時漏水が増加しましたが大きな損傷はなく、100年以上を経た今日まで神戸市の貴重な水源として使用されています。布引五本松ダムを含む、布引水源地の9施設が国の重要文化財（建造物）に指定されています。



全景



非常用洪水吐



散策路



取水設備

# 三協M i r a i 株式会社

本 社	〒105-0013	東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル) Tel. 03(3431)8266/Fax. 03(3434)5422
大阪支店	〒541-0059	大阪市中央区博労町 3-3-7 (O R E 本町南ビル) Tel. 06(6252)7075/Fax. 06(6252)7076
仙台営業所	〒980-0023	仙台市青葉区北目町 2-39 (東北中心ビル) Tel. 022(266)4662/Fax. 022(266)4663
福岡営業所	〒812-0013	福岡市博多区博多駅東 2-4-17 (第六岡部ビル) Tel. 092(481)3265/Fax. 092(481)3266



発行 三協M i r a i 株式会社  
東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル)  
U R L : <http://www.sankyomirai.co.jp>