

第80回

鉄道分野における コンクリートの変遷

はじめに

コンクリートはセメント、水と石(粗骨材、細骨材)を混ぜ合わせてできる材料です。コンクリートは、構成する材料が安価であり、作製が容易であることから、建設材料などに多く使用されています。また鉄道分野においても、コンクリートは橋りょうやトンネルな

どの構造物、コンクリートまくらぎなど多岐にわたって使用されています。

1872(明治5)年に日本に新橋・横浜間の鉄道が開通した時期とほぼ時を同じくして、1873(明治6)年に我が国初のセメント工場が東京の深川に創設されました。これ以降、鉄道とコンクリートは深く関わり合いながら互いの技術を発展させていくこととなります。

ここでは、コンクリートの技術的変遷と鉄道との関わりについて記述するとともに、コンクリート構造物の維持管理に関する技術的変遷についても触れてみます。

鉄道とコンクリート¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

表1にコンクリートと鉄道構造物に関する技術の変遷を記します。明治初期から1900年頃までのコンクリートは、断面の大きな橋台や橋脚、ブロックなどの無筋コンクリートに用いられていたため、非常に硬練りのコンクリート



図1 日本最初の鉄道用鉄筋コンクリート構造物
(島田川^{あんきよ}暗渠)



図3 上越線・清水トンネルにおける最後のコンクリートブロック挿入
出典：上越線水上石打間工事誌(第三巻)、鉄道省、1935

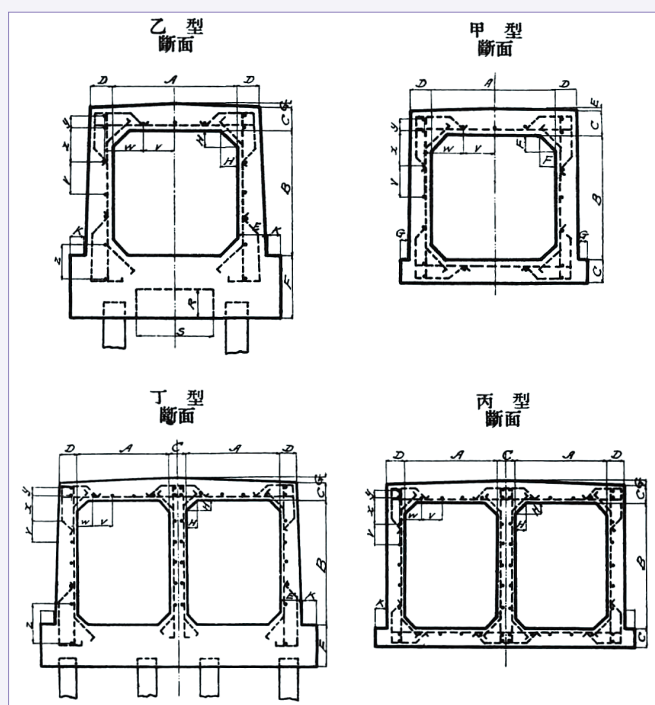


図2 鉄筋混凝土函渠標準の抜粋
出典：線路建造物図集、鉄道院工務局設計課、1916

を木蛸(太い丸太に数本の取っ手をつけた締固め具)を用い、人力でたたき込んで施工されていました。ちなみに、現在でも使われる、コンクリートを「打ち込む」という表現は、この頃の施工方法の名残りで、また、当時のコンクリートの配合の考え方は、セメント、砂、砂利の各材料の容積を比率で表したものが用いられていました。また、当時はセメントが高価であったことから、モルタル分が過剰にならないようにするものであり、水はじょうろで注ぐ程度の施工でした。

1900年以降になると、日本にも鉄筋コンクリートが導入され始め、1901(明治34)年には日本で初めての鉄筋コンクリート構造物である筑前枝光製鉄所が建設されました。鉄道における鉄筋コンクリート構造物は、それから6年後の1907(明治40)年に、山陰本線(米子～安来間)の島田川暗渠(図1)が建設されたのが最初になります。

鉄筋コンクリートに用いるコンクリートの配合は、鉄筋を配置した狭い型枠内に打ち込む必要があることから、以前の硬練りから軟練りへと変化していきました。鉄筋コンクリートの配合の規定としては、1909(明治42)年に大阪市土木課が「鉄筋コンクリート計算規定」という内規を定めた記録が残っており、鉄道分野でも1914(大正3)年に鉄道省達684号「鉄筋コンクリート橋設計心得」が制定されています。鉄道省の規定では、コンクリートの水量は、乾混凝土では突き固めたコンクリート表面に水がわずかににじみ出る程度、湿混凝土ではモルタルが粗骨材粒から分離するほど多量に用いてはならないと規定されています。

その後鉄道省からは、1916(大正5)年に鉄道省達1007号「コンクリート拱橋標準」および鉄道省達1111号「コンクリートかんきょ標準」(図2)が相次いで制定され、鉄道

表1 コンクリートおよび鉄道構造物に関する技術の変遷

西暦	元号	コンクリートに関する技術の変遷	鉄道構造物に関する技術の変遷
1872	明治5		新橋・横浜間に鉄道開通
1873	明治6	東京深川にセメント工場が創設	
1890	明治23	横浜築港工事で初めてコンクリートミキサ使用	
1900	明治33		「鉄道建設規定」制定
1901	明治34	日本初の鉄筋コンクリート構造物(築前枝光製鉄所)	
1905	明治38	日本ポルトランドセメント試験方法制定	
1907	明治40		日本初の鉄筋コンクリート鉄道構造物(山陰本線米子～安来間 島田川暗渠)
1909	明治42	大阪市土木課内規「鉄筋混凝土計算規定」	
1913	大正2	可傾式コンクリートミキサが使用開始	
1914	大正3		「鉄筋混凝土橋設計心得」制定
1916	大正5		「混凝土拱橋標準」「混凝土函渠標準」制定
1921	大正10		「国有鉄道建設規定」制定
1925	大正14	高炉セメント規格制定	
1927	昭和2	ポルトランド、高炉各セメントのJES制定	
1931	昭和6	鉄筋コンクリート標準示方書制定	上越線 清水トンネル完成
1948	昭和23		PCまくらぎ実用化
1949	昭和24	日本初のレディミクストコンクリート製造(東京コンクリート工業)	「日本国有鉄道建設規定」制定
1950	昭和25	混和剤(AE剤、AE減水剤)導入 工業標準化法によるJIS制定(セメント)	
1951	昭和26	日本初のPC橋りょう完成(石川県 長生橋)	
1952	昭和27		日本初の鉄道PC構造物(飯田線 落石覆)
1953	昭和28	JIS制定(レディミクストコンクリート) JIS制定(異形丸鋼)	「異形鉄筋を使用した鉄筋コンクリート造について」制定
1954	昭和29		日本初の本格的な鉄道PC橋りょう(第一大戸川橋りょう)
1955	昭和30	JIS制定(軽量コンクリート骨材)	「無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリート土木構造物の設計基準(案)」制定(総則等)
1956	昭和31		「建造物保守心得(案)」 「建造物の検査及び措置要領」制定
1958	昭和33	JIS制定(フライアッシュ)	「無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリート土木構造物の設計基準(案)」制定(構造細目等)
1960	昭和35	JIS制定(フライアッシュセメント)	
1961	昭和36	JIS制定(コンクリート用砕石)	「無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリート土木構造物の設計基準(案)」制定(基礎等)
1964	昭和39		「東海道新幹線鉄道構造規則」制定 「建造物管理規定」制定
1974	昭和49		「土木建造物取替の考え方」制定
1976	昭和51	JIS制定(コンクリート用砕砂)	
1980	昭和55	JIS制定(膨張材)	
1982	昭和57	JIS制定(AE剤、減水剤、AE減水剤)	
1984	昭和59	コンクリート構造物の変状が社会問題となる	
1986	昭和61	「コンクリート中の塩化物総量規制及びアルカリ骨材反応暫定対策について」通達	
1987	昭和62		「建造物保守管理の標準」制定 「コンクリート構造物に関する調査と補修の手引き(アルカリ骨材反応)」発刊
1989	平成元	「コンクリート構造物の耐久性設計指針(試案)」	
1995	平成7	化学混和剤JIS改定(高性能AE減水剤追記) 「コンクリート構造物の維持管理指針(案)」発刊	
2001	平成13	コンクリート標準示方書【維持管理編】発刊	
2007	平成19		「鉄道構造物等維持管理標準」通達

※参考文献1)～6)を基に筆者が編集

構造物へのコンクリートの適用範囲が拡大していきました。トンネルについても、大正時代から昭和初期にかけてはコンクリートブロックを積んで施工されていました。コンクリートブロックを主体としたこの当時の代表的なトンネルとしては、1931(昭和6)年に完成した上越線の清水トンネル(図3)があげられます。

昭和時代になると、コンクリートに関するさまざまな基準が整備され始めてきました。1927(昭和2)年には、ポルトランドセメントおよび高炉セメントの日本標準規格(JES)が制定されました。また1931(昭和6)年には、鉄道と道路の両構造物に適用される基準として、土木学会から「鉄筋コンクリート標準示方書」(図4)が制定されました。

第二次世界大戦後は戦災復旧工事など新規の建設工事が盛んとなり、さまざまな技術導入や規定の整備が行われました。

1948(昭和23)年にはあらかじめ引張応力を与えたコンクリート(プレストレストコンクリート:以下PC)によるまくらぎが初めて実用化され、1951(昭和26)年には日本初のPC橋りょう(石川県七尾市:長生橋)が、1952(昭和27)年には日本初の鉄道用PC構造物(飯田線:落石覆)が、そして1954(昭和29)年には日本初の本格的な鉄道用PC橋りょうとして第一大戸川橋りょう(図5)が造られました。

また、1949(昭和24)年には日本初の生コン(レディミクストコンクリート)が東京コンクリート工業で造られ、翌年の1950(昭和25)年にはコンクリートの練り混ぜ性能などを改善するための薬剤(AE剤、AE減水剤)がアメリカより導入されました。

また、規定の整備として、1950(昭和25)年に工業標準化法が制定され、日本工業規格(JIS)として各種セメント(ポルトランド、高炉、シリカ)の性能が規定されました。その後、JISでは、1953(昭和28)年にレディミクストコンクリートおよび異形丸鋼が、

1955(昭和30)年には軽量コンクリート骨材が、1958(昭和33)年には混和材としてのフライアッシュが、1961(昭和36)年にはコンクリート用砕石の各性能が規定され、コンクリートの各材料に関する基準が整備されていきました。

鉄道における設計基準もこの頃から整備され、1955(昭和30)年から1961(昭和36)年にかけて、「無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリート土木構造物の設計基準(案)」が相次いで制定されました。

コンクリートの維持管理の変遷⁴⁾⁵⁾⁶⁾

第二次世界大戦後、鉄道では都市部の高架化や新幹線の建設などにより、多くのコンクリート構造物が建設されました。これらの構造物が増加すると、今度はこれらをより長期間供用するために適切に維持管理することが課題となってきました。

ここからは、鉄道コンクリート構造物の維持管理技術の変遷と、コンクリートに生じる変状に対する規定の変遷について記します。

日本国有鉄道では、第二次世界大戦

後間もないころから維持管理に対する取り組みを実施しており、1956(昭和31)年に「建造物保守心得(案)」と、「建造物の検査及び措置要領」が制定されました。

その後、1974(昭和49)年には「土木建造物取替の考え方」(図6)が制定され、建造物の検査、変状原因の究明、健全度の判定、措置といった建造物の保守の流れが体系立てて整理されました。本規定で対象とした構造物は、コンクリート構造・鋼構造・基礎土構造・トンネル・斜面およびのり面の5種類でした。

国鉄改革のさなかである1987(昭和62)年には、分割民営化する新しい組織で、より合理的な維持管理業務を行えるように、上記5種類のうちコンクリート構造・鋼構造・基礎土構造の3種類について、「建造物保守管理の標準」(図7)として改訂されました。

分割民営化後も維持管理に対する取り組みは継続して行われており、国土交通省の委託により鉄道総合技術研究所を事務局とする維持管理に関する研究委員会が設置され、2007(平成19)年には国土交通省鉄道局より「鉄道構造物等維持管理標準」が通達されました。本標準は、コンクリート構造物編、



図4 コンクリート標準示方書および解説

左:昭和24年土木学会制定 コンクリート標準示方書, 土木学会, 1949
右:昭和24年土木学会制定 コンクリート標準示方書 解説, 土木学会, 1950
(鉄道総研図書館所蔵)



図5 日本最初の本格的な鉄道用PC橋りょう
(信楽高原鐵道 第一大戸川橋りょう)

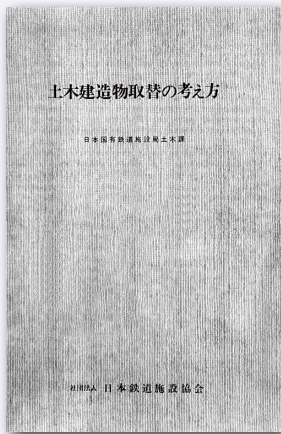


図6 土木建造物取替の考え方
日本国有鉄道施設局土木課編，日本
鉄道施設協会発行（鉄道総研コンク
リート材料研究所蔵（コピー））

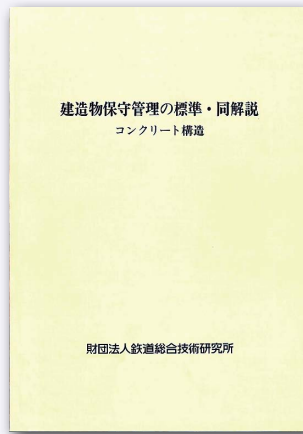


図7 建造物保守管理の標
準・同解説
（鉄道総研図書館蔵）



図8 塩害により劣化した建造物の例

鋼・複合構造物編，基礎・抗土圧構造物編，土構造物編，トンネル編の5編に分けて発刊されました。

上記のように鉄道建造物の維持管理に対する技術基準が整備され，建造物の検査が行われることにより，公営や民鉄を含めた全国の鉄道コンクリート建造物の維持管理が，体系立てて行われるようになりました。

1984（昭和59）年頃にはコンクリート建造物の変状が社会問題となり，とくにコンクリート中の塩分が原因で鉄筋を腐食させる塩害（図8）と，骨材中のある特定の物質とセメント中のアルカリ分が反応膨張してひび割れを生じるアルカリ骨材反応（日本では一般的にアルカリシリカ反応のこと）（図9）が注目を浴びました。

この当時はコンクリートの塩害やアルカリ骨材反応の抑制を目的とした規制は現在ほど厳格に決められていませんでした。塩分については1974（昭和49）年のコンクリート標準示方書にて海砂に含まれる塩分量の規定がありました。アルカリ骨材反応については1984年より前には規定がありませんでした。

しかし，上記の問題を受けて，1986（昭和61）年には建設省技術調査室から「コンクリート中の塩化物総量

規制およびアルカリ骨材反応暫定対策について」が通達され，塩分については鉄筋コンクリートやPCに対する許容塩化物総量が規定され，アルカリ骨材反応については骨材やセメント，コンクリート中のアルカリ総量に対する規定のいずれかを満たすことが求められるようになりました。また，アルカリ骨材反応については，鉄道分野でも独自に調査が行われ，1987（昭和62）年には「コンクリート建造物に関する調査と補修の手引き（アルカリ骨材反応）」が鉄道総合技術研究所から発刊されました。

コンクリートの今後

明治時代に日本に入ってきたコンクリートはさまざまな技術革新を経て，現在では鉄道をはじめ建造物を建設する主要材料として，なくてはならない材料となりました。また鉄道で建造された多くのコンクリート建造物の維持管理についても，その考え方や検査技術などの革新により，体系化された手法で行うことが可能となりました。

これからもコンクリートや建造物の維持管理では技術革新が進んでいき，超高強度などさまざまな特性を付加したコンクリートが開発されるとともに，コ

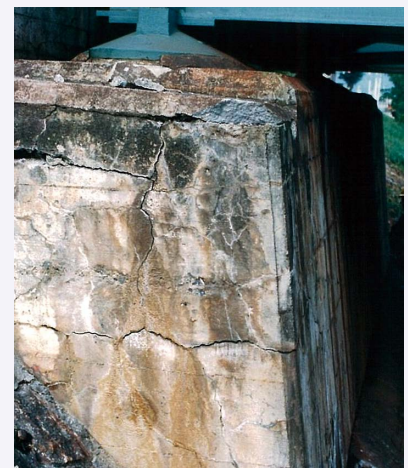


図9 アルカリ骨材反応により劣化した建造物の例

ンクリートの変状メカニズムの解明やさまざまな措置方法が開発され，鉄道の発展に貢献していきたいと思えます。

（鶴田孝司／材料技術研究部
コンクリート材料研究室）

文献

- 1) 小野田滋：鉄道構造物探見—トンネル、橋梁の見方・調べ方，JTB，2002
- 2) 構設史編集研究会編：鉄道構造物を支えた技術集団—国鉄構造物設計事務所の足跡，日本鉄道施設協会，2009
- 3) 友澤史紀：施工に関する技術の継承，改変と今後，コンクリート工学，Vol.51，No.1，2013
- 4) 日本コンクリート工学会編：コンクリート診断技術'17，日本コンクリート工学会，2017
- 5) 谷村幸裕：鉄道構造物の維持管理体系，コンクリート工学，Vol.48，No.5，pp.21-25，2010