

100 年を経た鋼橋（明治橋）床版コンクリートの分析

住友大阪セメント（株） 正会員 ○森川 卓子
 正会員 水越 睦視
 九州大学大学院 正会員 日野 伸一

1. はじめに

明治橋（大分県臼杵市野津町）は日本最古の合成床版を用いた鋼 2 主 I 桁橋であり、1902 年（明治 35 年）に現位置に施工された橋梁である。1961 年までは国道として、新明治橋開通後は歩行者専用橋として現在まで供用されている。2004 年 3 月に、本橋の保存活動の一環として構造・損傷度調査および静的載荷試験が土木学会鋼構造委員会道路橋床版の調査研究小委員会・日本橋梁建設協会床版研究委員会・日立造船（株）により実施され、詳細な調査結果が報告されている¹⁾。

床版コンクリートに関する調査は同小委員会により、8 本のコア抜き試料の圧縮強度試験および静弾性係数試験が実施された（図 1，表 1）。本報告ではこのコア試料を用いてコンクリートの分析を行った結果を報告し、当時使用されたセメント，コンクリートについて考察を加える。

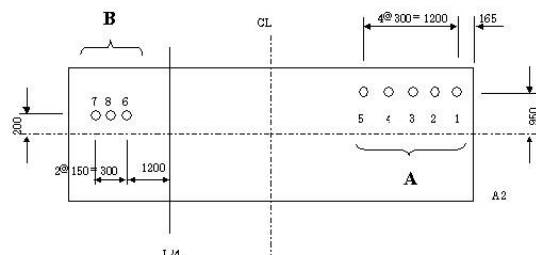


図 1 コア試料採取場所

2. 試験概要

(1) 試料

強度試験実施後のコア抜き試料 8 本（φ 75mm）を試験片として用いた。コアはコンクリート上面に亀甲状のひび割れが発生していない範囲（図 1-A）およびひび割れが進展した範囲（図 1-B）において、トラフ状底板の谷部より採取されたものである。コンクリートはトラフ状底板の上底面高さで水平ひび割れが進展し、上下に分割されていた。

表 1 コンクリート強度試験結果¹⁾

試料	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 ($\times 10^4$ N/mm ²)
A	No.1	18.7
	No.2	18.9
	No.3	18.6
	No.4	19.7
	No.5	25.4
B	No.6	24.8
	No.8	24.6

(2) 試験項目

コンクリートコアの強度試験結果をもとに、コア採取場所（A ただしコア No.5 を除く，B）ごとに各種評価試験を行った。それぞれ コア外観記載、モルタル部化学分析、細孔径分布、気泡間隔係数、粉末 X 線回折、TG-DTA，DSC、光学顕微鏡観察、SEM 観察、EPMA の各項目について試験を実施した。

3. 結果

(1) 使用材料の性状

セメントの化学組成

モルタル部の化学分析値を表 2 に示す。

今回分析を行ったモルタル中には細骨材として珪石の他に雲母片や種々の岩片を含んでいた為、セメント自体の正確な化学組成を推測することは難しい。

クリンカの特徴

コンクリート片を研磨し、未水和のまま残存していたセメント粒子について顕微鏡観察・EPMA による組成分析を行った（表 3）。試料中には 100 μ m を超える粗粒クリンカ粒子がまだ多く残存しており、使用されたセメントは現在のものと比べ粗粒であったことがわかる。エーライトは 30～100 μ m 程度の大きさで、比較的丸みを帯びた不定形状を呈するものが多くみられた。ビーライトは 10～50 μ m 程度の大きさであり、一部点線線条や櫛歯状凹凸を伴う I～Ia 型ビーライトであった。間隙相はきわめて大型のフェライト相・アルミネート相より成る。

表 2 モルタル部の化学組成（JIS R 5202 に準ずる）

試料	975 ig.loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl
A	6.85	68.88	6.07	3.97	3.34	9.08	0.75	0.12	0.09	0.33	0.002
B	6.02	69.97	5.72	3.79	3.00	9.63	0.86	0.12	0.13	0.34	0.008

キーワード 床版コンクリート，長期耐久性，セメント，水和，歴史的建造物

連絡先 〒274-8601 千葉県船橋市豊富町 585 住友大阪セメント(株)セメント・コンクリート研究所 TEL：047-457-0197

各鉱物の組成をみると、いずれも現代のものとほぼ変わらない組成を示していたが、ピーライト中の Al , Fe , Mg 量が若干低い傾向が認められた。また同時代（1899,1909）のセメントに関する研究²⁾で報告されていた値と比べると、アルミネート中の Na 量は低く、本セメント中にはアルカリアルミネートが含まれていないことが確認された。

骨材

コンクリート中に含まれている粗骨材はおおよそ 10～30mm 程度の大きさで、いずれも比較的円磨度が高い形状を呈していた。主な構成岩種は泥岩,砂岩,風化した安山岩～玄武岩,石英脈片,緑色岩などであり、おそらく周辺地域の川砂利を使用したものと推察される。

(2) コンクリート組織

細孔構造

各試料について細孔径分布および気泡間隔係数測定を行った結果を表 4 , 図 2 に示す。気泡間隔係数は比較的大きく、小さな気泡が少なくエントラップトエアが多い傾向が認められた。また、試料 A と B を比較すると前者の方が全体的に細孔量が多く、よりポラスな構造であることがわかった。

水和生成物

SEM によって試料破断面を観察した結果、溶出の影響により一部に蜂の巣状のポラスな水和組織を呈する部分が認められた（図 3）。それ以外の部分では比較的緻密な C-S-H が形成されており、その Ca/Si 比は 1.2～1.5 程度であった。

ペースト中には水酸化カルシウムはほとんど認められず、炭酸化により生成したバテライトが多く認められた。

また今回解析を行った試料中には白色析出物が比較的多く認められ、特に水平ひび割れ近傍で顕著であった。白色析出物は大型の気泡を埋めるようにして生成していた。X 線回折測定および電顕観察結果より、この白色析出物はエトリンガイトやカルシウムアルミネート系水和物であることがわかった。これらは水平ひび割れより水が豊富に供給されることにより硬化体内部から Ca^{2+} や Al^{3+} が拡散し、気泡内に二次的に水和物が生成したものであると推察される。

4 . まとめ

今回解析を行った床版コンクリートは、粗大な気泡が多く連行空気量が少なかった。また部分的に溶出の影響を強く受けており、気泡中には二次的に生成した水和物が多数認められた。

また使用されたセメントは比較的粗粒で、長時間焼成・徐冷を示す組織を呈していた。クリンカ中のアルカリ含有量は現代のものとほぼ同じで、骨材種からみてもアルカリ骨材反応は起こらなかったものと考えられる。

謝辞

本研究は土木学会鋼構造委員会道路橋床版の調査研究小委員会（委員長：堀川都志雄教授）の活動の一環として試料をご提供頂き実施しました。同委員会および現地調査においてご協力頂いた野津町（現臼杵市）日本橋梁建設協会床版研究委員会、日立造船（株）にはここに深く謝意を表します。

参考文献

1) 杉原伸泰,財津公明,松井繁之,堀川都志雄: 100 年を経た合成床版を有する鋼 2 主 I 桁橋(明治橋)の構造・損傷度調査,第 4 回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.29-36, 2004

2) K. Katayama, K. Sakai : Petrography of 100-year-old concrete from Otaru port, Japan, Proceedings of the 2nd International Conference on Concrete under Severe Conditions, pp.250-261, 1998

表 3 未水和セメント中各鉱物相の化学組成（平均）

鉱物相	alite		belite		aluminate		ferite	
	A	B	A	B	A	B	A	B
CaO	72.12	72.04	65.44	64.21	59.78	57.39	48.51	48.20
SiO ₂	24.81	25.11	32.48	32.01	2.30	3.77	1.48	0.79
Al ₂ O ₃	0.73	0.73	0.63	1.28	33.15	31.76	20.84	24.69
Fe ₂ O ₃	0.50	0.56	0.27	0.55	2.99	2.95	21.58	19.17
MgO	0.81	0.93	0.06	0.12	0.29	0.32	2.35	1.51
Na ₂ O	0.13	0.16	0.20	0.26	1.07	2.72	0.06	0.01
K ₂ O	0.03	0.06	0.14	0.61	0.16	0.62	0.00	0.00
SO ₃	0.04	0.01	0.41	0.29	0.01	0.01	0.00	0.01
MnO	0.05	0.06	0.04	0.08	0.02	0.02	1.20	1.01
πO ₂	0.18	0.16	0.27	0.28	0.07	0.10	1.85	0.87
P ₂ O ₅	0.08	0.05	0.09	0.12	0.02	0.00	0.02	0.01
Ca/Si	3.11	3.07	2.16	2.15				
Al/Fe					17.38	16.83	1.51	2.02

表 4 気泡システム測定結果/試料 A
(ASTM C 457 に準ずる)

気泡の数(個/mm)	0.020
気泡の比表面積(mm ⁻¹)	34.4
空気量(%)	0.24
気泡間隔係数(μm)	527

ペースト量を 30 vol.%として算出した値

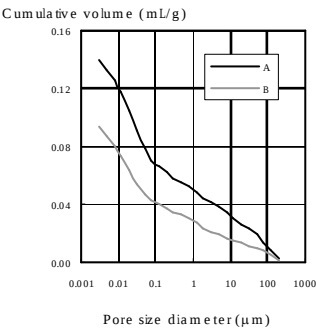


図 2 細孔径分布図

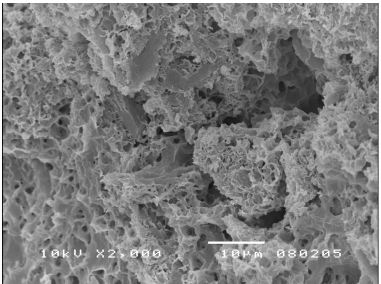


図 3 試料破断面 SEM 像/試料 B