

## 大正・昭和初期の歴史的コンクリートの物性および化学成分分析

正会員○ 原田彩加\*1  
同 浜 幸雄\*2  
同 佐川孝広\*3  
会員外 若杉伸一\*3

## 1.材料施工－13.改修・維持保全－c.試験・検査・評価

歴史的建造物，成分分析，配合推定，リートベルト解析

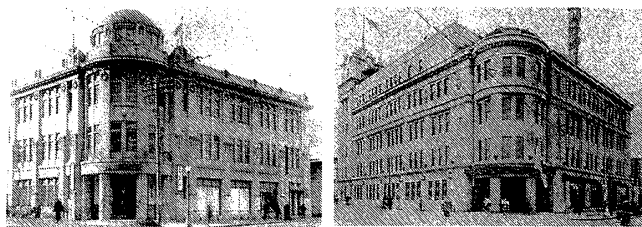
## 1. はじめに

我が国に RC 建造物が登場して、既に百年以上が経過した。近年では、木造建築物だけでなく RC 建造物のなかにも、法に基づく文化財として扱われるものが年々増加しつつある。しかし、木造建築物の保存再生に比べ、RC 建造物の保存再生は、その歴史はまだ浅く、古いコンクリートに対する歴史的価値の考え方が定着していない。しかし、当時のコンクリートの配合や成分と、経年後の物性を知ることは、現在使用されているコンクリートの性能向上にとっても有意義なことと考えられる。

本研究では、大正 12 年に新築され、昭和 5 年に増築された「旧函館市末広町分庁舎」の躯体コンクリートから採取した試料を用いて圧縮強度、中性化などの物性試験と配合推定、及び成分分析を行った。

## 2. 「旧函館市末広町分庁舎」の概要

写真 1 に「旧函館市末広町分庁舎」の大正 12 年新築時、昭和 5 年増築時および現在の建物外観を示す。また、当該建物の概要を表 1 に、歴史的変遷を表 2 に示す。当該建物は、北海道の RC 建築物としても創成期のもので、以前より歴史的 RC 建造物としての価値を評価されていた。しかし、建物の老朽化とともに維持管理費の増大が懸念されるようになってきたため、末広町分庁舎の新庁舎建設による住民サービスの向上と近接街区の再開発にあわせて、「西部地区のランドマークとして特徴的外観を保全し、西部地区の振興と市民の自主的なまちづくり活動の拠点施設として活用する」という方針の下に、当該建物の保存再生が決定された。



大正 12 年時

昭和 5 年時



現在

写真 1 建物外観

表 1 当該建物の概要

施設名称	旧函館市末広町分庁舎
所在地	函館市末広町 4 番 1 9 号
構造	鉄筋コンクリート造
階数	地下 1 階地上 5 階建一部塔屋 1 階建
延べ面積	7,418.86 m <sup>2</sup>
建築年月	大正 12 年
その他	函館市都市景観条例に基づく景観形成指定建築物

表 2 当該建物の変遷

明治 25 年	函館市丸井今井呉服店として開業
大正 12 年	二度目の被災後、原型となる建物が新築される
昭和 5 年	4 階部分を増築するとともに隣接して 5 階建てを増築し、現在の規模に近い形になる
昭和 9 年	大火による被災で内部が全焼し、焼失部分の改修および補強工事を施工
昭和 37 年	5 階の一部を増築
昭和 44 年	市が丸井今井から建物と土地を購入
昭和 45 年	函館市役所分庁舎（交通局、水道局他）として使用開始
平成元年	市の景観形成指定建築物等に指定
平成 9 年	耐力度調査の実施
平成 14 年	水道局の移転により一時閉鎖
平成 15 年	現況詳細調査を実施し、現状図面作成および鉄筋調査
平成 16 年	追加試験の実施。 耐震改修設計及び活用基本設計の実施

Physical Properties and Chemical Component Analysis of Historical Concrete in the Taisyo and the Early Syowa Period

HARADA Ayaka et.al

### 3. 試験項目および方法

実施したコンクリート試験の供試体と試験項目を表3に示す。供試体は大正期および昭和初期の壁、床部材からコアサンプルを抜き取り、圧縮強度試験、中性化試験、細孔径分布の測定、セメント成分推定、コンクリート配合推定、および水和生成物の定量分析を行った。

コンクリート圧縮試験は、大正期の部材から10本、昭和期の部材から17本を供試体として、JIS A 1107による方法で採取し、JIS A 1108による試験方法により行った。

中性化試験は、コアの割裂面にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧して、着色しない部分を中性化領域として測定した。

細孔径分布は、水銀圧入式ポロシメータを用いて、細孔径分布を測定した。

セメント成分推定は、コア供試体を粗砕後、105℃乾燥し、粗骨材を分離した後、モルタル部分をペーストと細骨材に分離、微粉碎し、それぞれについてJIS R 5202により化学分析を行った。図1に実験のフローを示す。

コンクリート配合推定は、セメント協会 F-18 法に従って行った。ただし、採取コア数が十分でなかったため、コア試料の一部を分取して行った。

水和生成物の定量分析は、X線回折リトベルト法<sup>2)</sup>および熱分析を行った。X線回折の測定は、内部標準物質としてコランダムを内割10%添加して行った。リトベルト解析は、Sietronics社のSIROQUANT Ver.2.5を用いた。解析の対象とした鉱物は、未反応セメント鉱物であるC<sub>3</sub>S、C<sub>2</sub>S、C<sub>4</sub>AF、水和生成物のCaCO<sub>3</sub>(カルサイト、ファエライト)およびCa(OH)<sub>2</sub>(以下CH)、骨材鉱物として石英、長石等とした。また、熱分析法では、CaCO<sub>3</sub>およびCHについての定量を行った。

### 4. 試験結果および考察

#### 1) コンクリート圧縮試験

圧縮試験結果を表5に示す。大正期のコンクリートの平均強度は28.2N/mm<sup>2</sup>、昭和期のコンクリートの平均強度は20.9N/mm<sup>2</sup>であった。これは、当時の設計基準強度である13.5N/mm<sup>2</sup>を満足しており、

80年以上経った今でも強度に問題はないことがわかった。

#### 2) 中性化試験

中性化試験結果を表6に示す。供試体は、全てコンクリート部分を覆っていたモルタル部分である。

表3 供試体および試験項目

施工時期	供試体		試験項目					コンクリート圧縮試験*	
	部位	種類	記号	中性化	細孔径分布	コンクリート配合推定	セメント成分推定		水和生成物定量分析
大正	壁	コンクリート	1W-1		○	○	○	○	○
		モルタル	3W-1	○					
昭和	床	コンクリート	1-1		○	○	○	○	○
		コンクリート	4-1		○	○	○	○	
	モルタル	5-1	○						
	壁	モルタル(3層)	RW-1	○					
		コンクリート			○	○	○	○	

\*圧縮強度試験の供試体は複数の部位・部材から試料を採取した

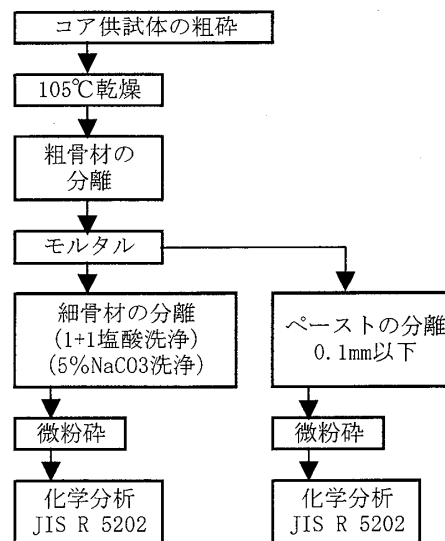


図1 セメント成分推定フロー

表5 コンクリート圧縮試験結果

供試体番号	コアサンプルの平均強度 (N/mm <sup>2</sup> )	試料全体の標準偏差 (N/mm <sup>2</sup> )
大正12年	28.2	4.2
昭和5年	20.9	5.2

表6 中性化試験結果

供試体番号	中性化深さ
3W-1	0.6mm
5-1	中性化は認められない
RW-1	14.5mm

3W-1については、2層からなっており、下層が中性化しているため表層は後の施工と考えられる。

5-1については、モルタルに石灰石砕砂を用いており、比較的近年の施工である可能性がある。RW-1については、3層からなっており、それぞれの施工時期は不明である。また、コンクリート部分の中性化については、X線回折の結果より、かなり中性化が進んでいる事がわかったので、このモルタル部分

は、大正期および昭和初期のものではないと推測される。

3) 細孔径分布

細孔径分布の測定結果を図2に示す。1-1については、100nm程度の細孔直径の容積が極端に多くなっている。また4-1については、20~30nm程度、1W-1については40~50nm程度の細孔直径の容積がかなり多くなっている。よって、大正期の供試体(1W-1)の方が、昭和初期の供試体(1-1, 4-1)よりも、細孔が小さく、細孔容積も少ないことがわかった。RW-1については、100nm程度の細孔直径の容積が多くなっているが、これらの供試体の中では、最も全細孔量が少なかった。これらの供試体は、水セメント比などの資料がないため厳密には言えないが、この分布図を見る限り、かなり細孔組織が粗いといえる。

4) セメント成分推定

セメント成分推定結果を表7に示す。大正10年および昭和元年における普通ポルトランドセメントのセメント成分(表8)<sup>3)</sup>と比較すると、1-1, 1W-1, RW-1については、CaO量の割合は少なく、SiO<sub>2</sub>量の割合が多くなっている。よって、これらのセメントには、何らかのポズラン物質が混和されていると考えられる。4-1についてはCaO量が非常に高くなっていることから、石灰石骨材が使用されていると考えられる。

5) コンクリート配合推定

これらの供試体は、セメント成分推定の結果から、ポズランの混合や石灰石骨材の使用が推測された。そのため、コンクリート配合推定は上手くできなかった。そこで、通常のF-18法による配合推定から、ポズラン混和量の補正を試みた。ここで、ポズラン中にCaOが含まれていないものと仮定し、表8と表7中のCaO量の差からポズラン混和率を算定した。通常のF-18法による配合推定では、ポズランは全量が骨材分と算定されているものとして、算定されたポズラン混和量をセメント分と見なし、骨材量から差し引いた。その結果を表9に示す。これらの結果と1913年以降(大正初期)の配合例における重量比(水:セメント:砂, 砂利=1:2.14:6.49)および水セメント比(58~71%)<sup>4)</sup>とを比較すると、その割合は等しいとは言い難い。これは、F-18法による分析では、コンクリートm<sup>3</sup>を代表しうるコア供試体が必要とされているのに対し、今回用いた供試体は少量のサンプルであったので、セメントと骨材の割合の変動が大きくなっ

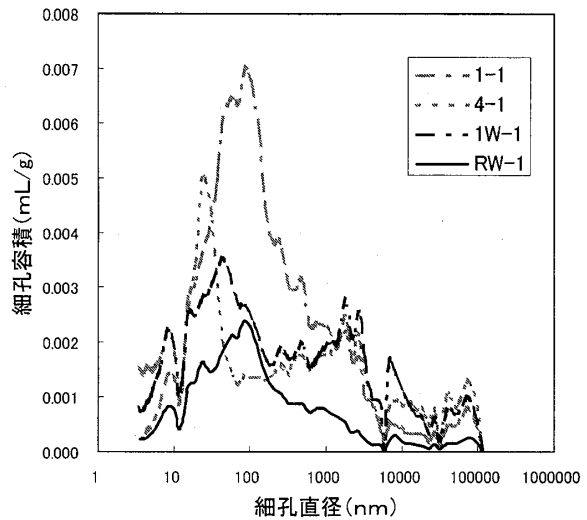


図2 細孔分布図

表7 セメント成分推定結果(%)

供試体番号	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3
1-1	34.3	7.9	4.3	49.0	2.6	1.9
4-1	21.7	3.7	2.4	69.9	1.2	1.1
1W-1	27.6	6.5	3.8	59.5	1.2	1.4
RW-1	27.2	5.2	4.9	59.3	1.4	2.1

表8 普通ポルトランドセメントにおける化学成分(%)

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3
大正10年	22.0	7.2	2.5	61.4	1.7	1.4
昭和元年	21.8	5.1	3.1	63.8	1.7	1.2

表9 コンクリート配合推定結果(kg/m<sup>3</sup>)

供試体番号	骨材	セメント	水	W/C
1-1	1856	162	231	143
4-1	1861	233	188	81
1W-1	1831	238	194	82
RW-1	1647	303	239	79

たためと考えられる。しかし、推定セメント比と図2に示した細孔量の関係は、比較的良く対応しており、推定したコンクリート配合の供試体間の相対比較は可能であると考えられる。

6) 水和生成物の定量分析

リートベルト法により得られた定量値を、未水和セメント鉱物、水和生成物で100%に補正した結果を、表10に示す。これより、いずれの供試体からも未水和セメント鉱物が定量された。また、水和生成物については、CHはほとんど認められず中性化が進行していた。さらに、コンクリートは中性化が進行しており、全ての試料においてファタライトの

生成が認められたことから、中性化速度が早かったことが推測される。

水和生成物の定量値の熱分析とリートベルト法との比較について、表 11 に示す。水和生成物である CH や  $\text{CaCO}_3$  の定量は、通常、熱分析により行われてきたが、本試験でのリートベルト法によるこれらの水和物の定量結果は、熱分析により求めた値とほぼ等しかった。さらに、熱分析による定量では、カルサイトとファテライトの区別はほぼ不可能であるが、リートベルト法では両者を区別することができ、より詳細な中性化の診断ができる可能性があると考えられる。

7) 骨材割合の定量

本試験でのリートベルト法では、未水和セメント鉱物、水和生成物の定量と同時に、骨材鉱物についても定量を行っている。そこで、表 7 に示したセメント成分推定時に行った化学分析（以下、湿式分析）の結果から、骨材割合を算定し、リートベルト法により求めた骨材割合と比較した。図 3 に、湿式分析およびリートベルト法により求めた骨材の割合を示す。セメントに混和されているポズランや、石灰石骨材を使用している影響等から、若干のばらつきは認められるが、湿式分析とリートベルト法により求めた骨材の割合は、ほぼ一致していた。これまでは硬化コンクリートの配合推定には、湿式の化学分析が必要であったが、リートベルト法により、骨材鉱物の同定、定量が可能であれば、概算の骨材割合を算定することが可能といえる。

5. まとめ

大正期および昭和初期の壁、床部材からコアサンプルを抜き取り、圧縮強度試験、中性化試験、細孔径分布の測定、セメント成分推定、コンクリート配合推定および水和生成物の定量分析を行った結果、コンクリートの強度やセメント成分、配合を明確にすることができた。当時のコンクリートは今でも当時の設計基準強度を満足しており、混合材としてポズラン物質が含まれていたこと、石灰石骨材が使用されていたことがわかった。さらに、コンクリートは中性化が進行しており、中性化速度が早かったことが推測された。

表 10 リートベルト解析結果

供試体番号	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_4\text{AF}$	$\text{CaCO}_3$		CH	Amor.
				カルサイト	ファテライト		
1-1	0.1	4.2	0.0	18.0	6.7	0.0	71.0
4-1	0.0	5.3	0.0	17.0	32.4	0.0	45.2
1W-1	1.6	3.1	0.1	24.1	5.9	0.1	65.1
RW-1	0.7	4.7	0.7	23.0	5.5	2.0	63.4

表 11 水和生成物の定量値の比較

供試体番号	$\text{CaCO}_3$ 定量値(%)		CH定量値(%)	
	Rietveld	TG	Rietveld	TG
1-1	13.6	13.7	-	-
4-1	17.7	18.0	-	-
1W-1	17.8	17.8	0.1	-
RW-1	13	12.4	0.9	2.2

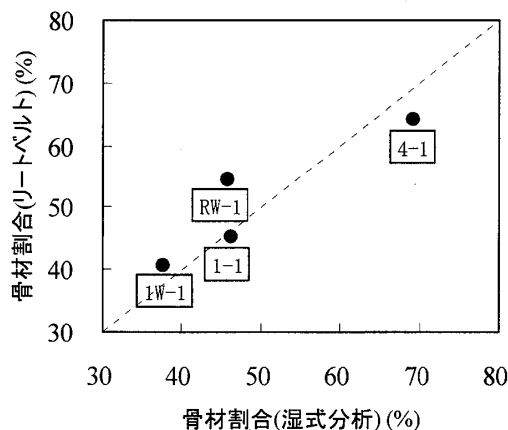


図 3 骨材割合の比較

【参考文献】

- 1) コア採取によるコンクリート構造物の劣化診断法, 森北出版 (1998)
- 2) 佐川孝広ほか: セメント鉱物の反応率に及ぼす水セメント比と養生条件の影響, セメント・コンクリート論文集, No.58, pp.23-30(2004)
- 3) 長瀧重義: コンクリートの長期耐久性, 技報堂出版 (1995)
- 4) 北海道におけるコンクリートの歴史, 日本コンクリート工学協会 北海道支部 (2003)
- 5) 立松英信ほか: セメント水和物の炭酸化におけるファテライトの生成, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No1, pp.905-908, (1992)

【謝辞】

本研究を行うにあたり加藤勝也氏(日本データサービス(株))の協力を得ました。記して感謝の意を表します。

\*1 室蘭工業大学大学院

Graduate School, Muroran Institute of Technology

\*2 室蘭工業大学・助教授・博士(工学)

Assoc.Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng

\*3 日鐵セメント株式会社研究開発部

Nittetsu Cement Co., Ltd., Research and Development Dept.