

歴史的建造物に用いられているコンクリートの材料調査に関する一考察

正会員 ○川瀬みなみ^{*1}同 佐藤 大輔^{*2}同 青木 孝義^{*3}

歴史的建造物	コンクリート	普通ポルトランドセメント
粉末度	化学成分	単位容積質量

1. はじめに

歴史的建造物に用いられているコンクリートは、セメント品質の向上、水セメント比説による調合の導入、施工機械の進歩など、製造技術が発展する中で作られたものである。建造物の歴史的価値を位置付けるひとつの要素として、コンクリートの素性（セメントの品質や種類、混和材、骨材、調合など）を把握したいという要望があげられることがある。また、その耐久性にも着目される。

コンクリートの素性や耐久性評価では、セメント品質の良否や調合が検討されることが多く、建造物竣工年代における普通ポルトランドセメントの平均的な値が比較・参照対象とされている。しかし、製造技術が移り変わる中で製造会社ごとに設備の導入時期に差があり¹⁾、現在のような品質管理が確立されていない時代であることから、普通ポルトランドセメントの品質の経時的変動やばらつきは相当に大きかったと予想される。

以上を背景として、本稿では、明治中期から昭和後期に製造された普通ポルトランドセメントの品質の推移について資料分析するとともに、これらがコンクリートの材料調査に与える影響について考察した。

2. 参考文献

参照した文献を表1に示す。抽出した品質は、粉末度、化学成分、単位容積質量である。

3. 普通ポルトランドセメントの品質の推移

品質の推移について、粉末度を図1に、化学成分を図2に、単位容積質量を図3に示す。粉末度は88 μ m(4900目篩)残分とした。化学成分は、代表して酸化カルシウムと水硬率とした。水硬率は式(1)による算定値とし、算定に必要な化学成分が不明な場合は文献値を採用した。

$$HM = CaO / (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3) \quad (1)$$

ここで、HMは水硬率(%), CaOは酸化カルシウム(%), SiO₂は二酸化ケイ素(%), Al₂O₃は酸化アルミニウム(%), Fe₂O₃は酸化鉄(III)(%)である。

3.1 粉末度

図1より、88 μ m残分の平均値は明治期から大正末期にかけて少なくなっており、昭和に入ってからの変動は小さい。これは焼成窯の変遷およびこれに伴う設備機器の進歩による品質向上と考えられる¹⁾。

なお、明治～大正期のセメント粒子は現代に比べて大きく、コンクリート中に未水和部分が残存していることがある²⁾⁴⁾。この未水和部分は、コア採取やはつりによって露出して水に触れると水和反応により水酸化カルシウムを生成するため、フェノールフタレイン溶液噴霧による中性化深さが小さく測定される可能性が指摘されている²⁾。このとき、フェノールフタレイン溶液噴霧後の呈色には時間を要するとされているが、同様の現象は昭和期以降のコンクリートでも確認されており、特に乾燥状態が著しい場合に生じるとされている⁵⁾。よって、歴史的建造物のコンクリートの中性化深さは、噴霧直後および呈色が安定する数分後の2度測定しておくことが望ましい。

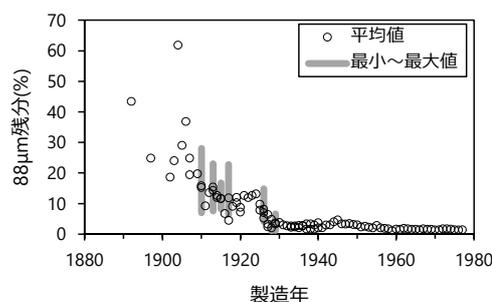


図1 粉末度の推移

表1 普通ポルトランドセメントの化学成分に関する参考文献

文献名	著者名	出典
わが国のセメント品質—特に外国セメントとの比較—	中尾龍秀	セメント・コンクリート, No.253, pp.27-40, 1968
本邦セメント品質の向上と製造方法の進歩	狩野宗三	工業化学雑誌, 第30巻, 第10号, pp.688-699, 1927.10
ポルトランドセメントの分析方法に就て	高山甚太郎	大日本窯業協会雑誌, 第13巻, 第147号, pp.65-72, 1904
本邦セメントの品質と東洋市場	狩野宗三	工業化学雑誌, 第21巻, 第8号, pp.794-801, 1918.8
本邦製セメントの試験報告(第三～一一報)	永井彰一郎	大日本窯業協会雑誌, 第35～38巻, 第418～447号, 1927～1930
満州のセメント工業と製品の批判	永井彰一郎	大日本窯業協会雑誌, 第46巻, 第545号, pp.238-245, 1938.5
最近のセメント品質低下の趨勢に関する調査	福島彌六	大日本窯業協会雑誌, 第49巻, 第585号, pp.550-564, 1941.9
最近のポルトランド・セメントの成分に就て(第2報)	福島彌六	大日本窯業協会雑誌, 第52巻, 第614号, pp.57-65, 1944.2
最近11年間のわが国セメント品質の推移	村橋均次郎	セメント・コンクリート, No.379, pp.20-26, 1978.9

Study on material surveys of the concrete used in historical buildings

KAWASE Minami, SATO Daisuke and AOKI Takayoshi

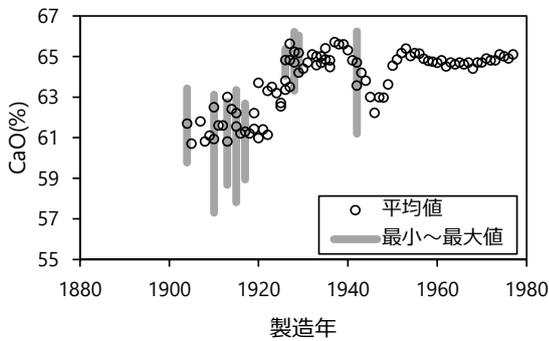
3.2 化学成分

図2より、CaOとHMの平均値は年代が進むにつれて上昇傾向にあるものの、局所的な品質低下が見られた。1914～1918年の第一次世界大戦前後、1937～1945年の日中戦争および第二次世界大戦の中、セメントの焼成に必要とされる高品質な石炭の不足により、低品質な石炭が使用されて焼成が不完全となったことが主な要因として挙げられる^{6)~8)}。

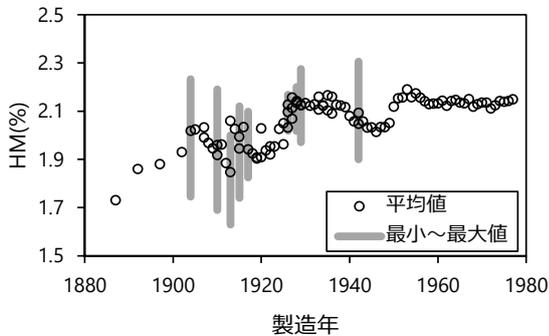
セメント中のCaOのばらつきは大きく、大正中期は最小値から最大値に6%程度の幅があった。この差が調査推定に与える影響を検討すると、コンクリートの単位容積質量を2,300kg/m³、CaOを8%としたとき、単位セメント量はセメント中CaOが63%の場合292kg、57%の場合323kgとなる。単位水量を180kgとすれば、水セメント比はそれぞれ0.62、0.56となる。

3.3 単位容積質量

単位容積質量に関するデータは、セメントが樽に手詰されていた昭和初期まで確認された(図3)。セメントの詰め具合によって『軽装』と『重装』に呼び分けられ⁹⁾、容積比による調査が行われていた明治から大正期においては、同じ容積比で計画されたとしても計量容器への詰め具合によって最大で700kg/m³程度の質量差が生じていたことが予想される。調査推定による単位セメント量を300kgとしたとき、単位容積は軽装(1,000kg/m³)で0.30m³、重装(1,700kg/m³)で0.18m³となる。単位骨材量



(a) 酸化カルシウム CaO



(b) 水硬率 HM

図2 化学成分の推移

が1,800kg(単位容積質量1,600kg/m³)のとき、セメント:骨材の容積比は軽装で1:3.8、重装で1:6.3となる。

4. まとめ

資料分析結果を踏まえ、歴史的建造物に用いられているコンクリートの材料調査時の留意点を以下に示す。

- i) フェノールフタレイン溶液の呈色範囲は未水和部の残存や乾燥の影響を受けて経時変化するため、噴霧直後と数分後の2度測定しておくことが望ましい。
- ii) 化学成分は大正中期から昭和前半の間に局所的な品質低下があるため、比較・参照対象は建造物の竣工やコンクリート打設と同一年とすることが望ましい。
- iii) 化学成分と単位容積質量はばらつきが大きいため、幅を持たせた比較・参照が望ましい。

参考文献

- 1) 台信富寿, 守明子, 河原利江, 宮本文穂: 明治・大正時代におけるセメント製造方式の変遷—焼成窯形態に伴う製造方式の変遷—, 日本建築学会計画系論文集, 第610号, pp.251-258, 2006.12
- 2) 安藤陽子, 片山哲哉, 野口孝俊, 久保善司: 100年以上が経過した第二海堡に使用されたコンクリートの岩石学的観察および長期耐久性, セメント・コンクリート論文集, 第71巻, 第1号, pp.448-455, 2018.3
- 3) 沢木大介, 後藤光亀: 野蒜築港市街地跡の遺構から得られたセメント硬化物の化学的評価—構成部材の化学分析に基づく近代土木遺産の考古学的解析—, 土木学会論文集D, Vol.65, No.3, pp.229-243, 2009.7
- 4) 依田彰彦: 横浜三井物産ビル, コンクリート工学, 第46巻, 第9号, pp.103-106, 2008.9
- 5) 和泉意登志, 押田文雄, 嵩英雄: 中性化試験方法の標準化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.10, No.2, pp.425-430, 1988.6
- 6) 中川博: セメント工業管見, 大日本窯業協会雑誌, 第29巻, 第343号, pp.219-223, 1921.3
- 7) 後英太郎: セメント工業に於ける粗悪炭合理的使用問題, 大日本窯業協会雑誌, 第49巻, 第584号, pp.457-460, 1941.8
- 8) 福島彌六: 最近のポルトランド・セメントの成分に就て(第2報), 大日本窯業協会雑誌, 第52巻, 第614号, pp.57-65, 1944.2
- 9) 日本セメント株式会社編: 七十年史.序編, pp.367-378, 1955.10

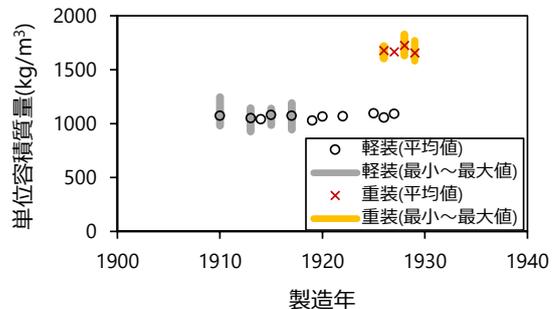


図3 単位容積質量の推移

*1 コンステック 博士(芸術工学)

*1 Constec Engi, Co., Dr. Design and Architecture

*2 コンステック 博士(工学)

*2 Constec Engi, Co., Dr. Eng.

*3 名古屋市立大学大学院芸術工学研究科 教授・工博

*3 Prof., Graduate School of Design and Architecture, Nagoya City Univ., Dr. Eng.