

長期間経過した構造物の調査研究

(株) 太平洋コンサルタント 正会員 梶井章弘

熊本県人吉市役所 迫田敏史

(株) 興和測量設計 正会員 勇 秀忠

旧 (株) 興和測量設計 (現 熊本県益城町役場) 倉岡克行

1. 緒言

日本におけるポルトランドセメントの歴史は約 140 年を経過し、コンクリート構造物にも歴史的、文化財的に貴重とみなされるものが増えつつある。

熊本県人吉市木地屋地区に現存するおかくら橋 (写真 1) は 1919 年 (大正 8 年) に建設された鉄筋コンクリート橋であり、長期間経過した構造物としては健全な状態を維持しているため、コンクリートの材料特性を調査することは非常に興味深い。

本報では、採取したコンクリートコアを用いて物理的および化学的評価を行った結果を報告する。



写真 1 おかくら橋の外観

2. 調査および試験内容

試料は直径 $\phi 100$ mm のコンクリートコアを桁の内側より 5 本採取し、圧縮強度、中性化深さ、配合推定、細孔径分布、電子顕微鏡観察を行った。

3. 結果

3. 1 圧縮強度

結果を表 1 に示す。明治から昭和の早期に施工されたコンクリートの性状を報告した文献 26 報より、圧縮強度のデータをピックアップし、施工年に対してプロットすると¹⁾ 40 N/mm^2 を超えるものもあるが、大半は $10 \sim 40 \text{ N/mm}^2$ の範囲にあるので、このくらいが当時の一般的な強度レベルと考えると、得られた 20 N/mm^2 未満という値は、中程度ないしはやや低いレベルといてよいと思われる。

表 1 圧縮強度試験結果

試料名	圧縮強度(N/mm^2)	
	補正前	補正後*
桁起点側①	15.4	14.9
桁起点側②	13.6 **	13.3 **
桁起点側③	19.2	18.6

* : 補正後圧縮強度(N/mm^2) = 補正前圧縮強度 $\times$ 補正係数

** : コア外観から直径の 1/3 を超える粗骨材が確認された

3. 2 中性化深さ

結果を表 2 に示す。中性化深さは環境の影響を強く受ける性状であり、時代による何らかの傾向は認められないが、圧縮強度と同様、既往の報告に見られる明治から昭和早期のコンクリートの試験結果と比較すると、 $40 \sim 50 \text{ mm}$ という値は中程度のレベルといてよいと思われる。

表 2 中性化深さ試験結果

試料名	中性化深さ平均値(mm)
桁起点側①	39.8
桁起点側②	48.8
桁起点側③	48.4

3. 3 配合推定

結果を表 3 に示す。なお、セメント量の計算に必要なセメントの CaO 含有率は、文書記録²⁾に残る 1919 年 (大正 8 年) の日本における普通セメントの分析値の一例である 62.2% とした。

表 3 配合推定結果

材料単位量(kg/m^3)			水セメント比 (%)
セメント量	水量	骨材量	
219	207	1840	95

圧縮強度、中性化深さと同様、既往の報告に見られる明治から昭和早期のコンクリートの試験結果と比較すると推定水セメント比 95 % は昭和初期のピーク値に近い。1900 年代初頭、琵琶湖疏水運河施設などで、鉄筋コンクリートが使われ始めた³⁾。その出現以降、建築用コンクリートには施工しやすさ

が重視され、軟練り化が進行した³⁾。鉄筋コンクリート造であったおかくら橋でも、当時の事情に違わず、コンクリートは比較的軟練りであったのではないかと推察する。

大正期、コンクリートの配合は材料の容積比で定められていた。1921年(大正10年)に公布された「土木及び建築工事示方書」には用途に応じた容積配合のガイドライン⁴⁾が記されており、「鉄筋コンクリート標準示方書」(昭和6年)⁴⁾等に記された単位容積質量の一例(セメント 1500 kg/m³、川砂、川砂利 1650 kg/m³)を使用して計算すると、セメント:骨材=1:7.6であり、ガイドラインに当てはめると、セメント:細骨材:粗骨材=1:2:4、1:2.5:5、1:3:6のいずれかに近いものと思われる。

3. 4 細孔径分布

結果を図1に示す。細孔径分布の結果はもとの材料や配合、施工の良否、供用期間中に曝された環境条件、それらの結果としての経時的変質などが影響し、統一した見解により解釈することは容易ではない。しかしこれまでに経験した、長期間を経過した実構造物のコンクリートの結果と比べると、本件のコンクリートの細孔径分布には、主に毛細管空隙に相当する 0.01 μm から 10 μm 程度の空隙が多いという特徴が見られる。

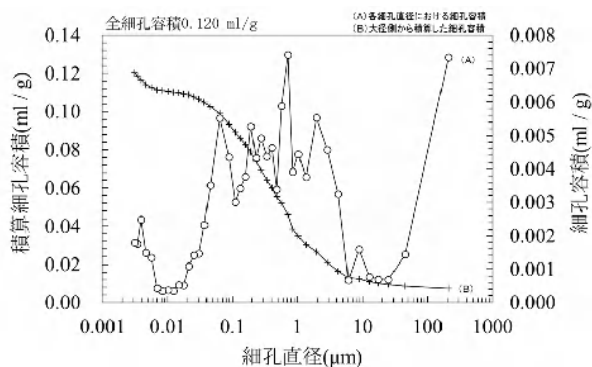


図1 細孔径分布測定結果

3. 5 電子顕微鏡(背面反射電子像)観察

結果を図2に示す。視野の多くを占める暗灰色で多角形の粒子が骨材、骨材の間を埋めるのがセメント水和物相、その中に散在する明灰色ないしは白色の粒子がセメント、黒色の円形の部分は気泡である。明治など古い時代、耐海水性向上などの目的で火山灰がコンクリートに使用された例はあるが、本件のコンクリートには認められなかった。

水和物相に着目すると、全体的に暗色味が強く観

察され、粗い組織であることがわかる。前述のように、本件のコンクリートは水セメント比がかなり高いものと推定されており、その結果、セメント水和物相はこのような空隙の多い組織を呈するものと思われる。また細孔径分布の結果とも矛盾しない。

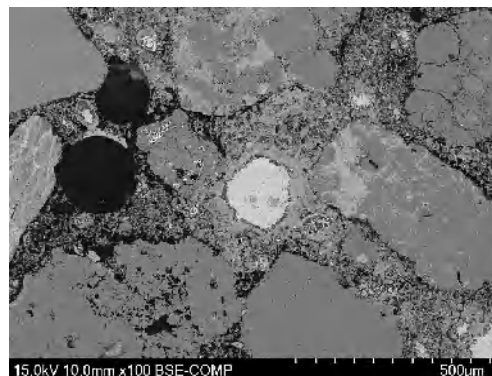


図2 電子顕微鏡観察結果

4. まとめ

本件にて調査を行ったおかくら橋のコンクリートは水セメント比が高めであるため、水和物相が空隙の多い組織であった。しかしながら、当時のガイドラインに沿った容積配合で作成されていること、ジャンカや材料分離等も生じていないことから丁寧な作られたコンクリートであることは容易に想像できる。また、セメント粒子が未反応のまま残存していることから、未だに水和反応がすすむポテンシャルを保持している可能性が示唆される。結果として約100年という長期間、健全な状態を維持できたのではないかと考えられる。

5. 結言

文化財など長期に亘って使用する構造物は、圧縮強度等の物理的特性を把握するだけではなく、材料分析によって得られた当時の配合条件や材料特性の記録を残しておくことが維持・保存・管理を考えるうえでは重要である。

参考文献

- 1) 沢木大介: 長期間経過した実構造物中のセメント硬化体のキャラクタリゼーション、東京工業大学博士論文、2010
- 2) 中尾龍秀: わが国のセメント品質 —とくに外国セメントとの比較—、セメント・コンクリート、No.253、pp.27~40、1968
- 3) 長瀧重義: コンクリートの長期耐久性 [小樽港百年耐久性試験に学ぶ]、技報堂出版、1996
- 4) 土木学会: 鉄筋コンクリート標準示方書、1931