

水酸化カルシウムの形態的特徴による硬化コンクリートの水セメント比(W/C)評価法

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○上原 元樹

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 佐々木孝彦

(株)ジェイアール総研エンジニアリング 立松 英信

1.はじめに

コンクリートの品質診断において、水セメント比(W/C)を的確に把握することは極めて重要である。通常はセメント協会法の配合推定試験により推定できるが、分析操作が煩雑なことや想定できない値が算出されることがあるなど不都合も存在している。そこで、簡便に W/C を推定する方法が求められており、セメント水和時に生じる水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)の大きさと W/C と

の相関から W/C を推定する方法(水量指数法)¹⁾²⁾が提案されている。本報告では、この水量指数法を単位セメント量の異なる場合、あるいは石灰岩骨材が使われた場合の適用を検討した結果を報告する。

2.水量指数法の概略

W/Cが大きい場合、水和時に生じる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の(001)面(図1の灰色面)が発達した平板状の大きな結晶が生成する。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を粉末X線回折分析すれば結晶の特徴からW/Cの推定が可能となる。図2は試薬の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、W/C=80%及びW/C=50%となるよう作製したコンクリートの粉末X線回折図である。図における001回折線ピーク P_1 と101回折線ピーク P_2 の強度比 P_1/P_2 を水量指数と呼び、W/Cを見積もるための指標とする。試薬では、この P_1/P_2 は小さいが、W/Cが大きいときに生じる大きな $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の結晶は一定方向に並び(配向)、 P_1/P_2 は大きくなる。このとき、W/Cと水量指数との相関をW/C既知のコンクリートから求め、その P_1/P_2 値を検量線として用いることにより未知試料のW/Cを推定することが可能である。

3.実験

単位セメント量及びW/Cの異なるコンクリート供試体(10φ×20cm)を作製した。この供試体全量を粗骨材が出来る限り混入しないよう75μm以下に粉砕し、粉末X線回折により水量指数を求めた。また、測定試料を塩酸により溶解して骨材量を、示差熱天秤における400℃付近の減量から $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量を求めた。

4.結果

表1は作製したコンクリート供試体の水量指数、骨材量、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の結果である。同一W/Cでも水量指数は異なる場合があるが、この相違は、分析試料において、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量及び骨材量が一定ではないためと考えられる。上述のように水量指数法は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の配向性を測る手法であるが、この配向性は結晶形態の他に分析試料における配向を減らす

成分(主に骨材分)の影響を受けるためである。この骨材量は、試料の粉砕条件等により変わってしまうため、このままでは汎用的に用いることが出来ない。そこで、水量指数を骨材量で補正する方法を検討した。

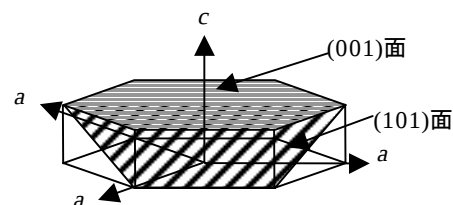
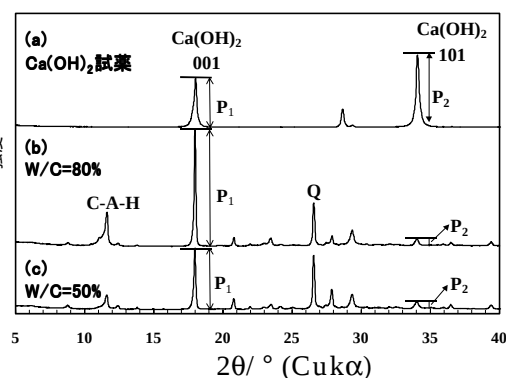
図1 水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)の結晶

図2 粉末X線回折における P_1/P_2 (水量指数)と水セメント比(W/C)の関係。(a)水酸化カルシウム試薬、(b)W/C=80%のコンクリート供試体、(c)W/C=50%のコンクリート供試体。C-A-H:カルシウムアルミネート水和物、Q:石英

表1 同一水セメント比でも水量指数の値が異なる例

単位セメント量 (kg/m^3)	W/C (%)	水量指数 (P_1/P_2)	骨材量 (mass%)	水酸化カルシウム量 (mass%)
340	50	10.7	39.06	8.7
300	50	10.0	40.93	8.3
250	50	8.4	46.78	6.4
283	60	16.5	34.08	9.4
250	60	15.2	37.31	7.6
200	60	11.1	46.07	5.0

キーワード:水セメント比, 水酸化カルシウム, 水量指数, 粉末X線回折

連絡先:国分寺市光町2-8-38 TEL 042-573-7338 FAX 042-573-7358

図3は、試料中の骨材量が一定となるよう石英砂を測定試料に混ぜ水量指数を求めたものである。分析試料中の骨材量が増えると同じW/Cでも水量指数が小さくなること、骨材量を一定とした場合W/Cに対して直線関係が成り立つことがわかる。また、この直線を検量線として用い、異なる単位セメント量で作製したコンクリートに当てはめた結果を同様に図3に示す。例えばW/C=60%、単位セメント量250kg/m³で作製したコンクリートの水量指数は15.2、骨材量37.3%と実測された。これを図3の検量線に当てはめた場合、W/Cは60%と算出され、実際の値と一致する。その他のコンクリートに関しても同様に実際に施工された値とほぼ一致し、本補正法は有効であることがわかった。しかし、この方法は石灰石を使用した骨材には、その酸溶解性のため用いることが出来ない。そこで、骨材量の代替として分析試料中に含まれるCa(OH)₂量で水量指数を補正する方法も検討した。図4は、分析試料中のCa(OH)₂量が一定となるよう石英砂を混ぜ水量指数とW/Cの関係をプロットしたものである。試料中のCa(OH)₂が増えると、同じ水セメント比でも水量指数が大きくなること、同一Ca(OH)₂量の試料は、水セメント比に対して直線関係が成り立つことがわかる。また、この直線を検量線として用い、異なる単位セメント量で作製したコンクリートに当ては

めた結果、比較的良好な一致が得られている。そのため、本補正法は、石灰石等を使用した比較的年の新しいコンクリートのW/Cを簡易的に求めるときに特に有効と考えられる。

表2はセメント協会法による配合推定試験(F-18)、中性化試験が行われた実構造物に関して、水量指数法でW/Cの推定を行った結果である。水量指数法から求めたW/Cは、中性化深さから求めたW/C(環境要因に

より大幅に変わるため必ずしも正しくはない)と近い値を示し、この場合、現実のW/Cをより反映したものと考えられる。したがって、水量指数法は、経年を経た実構造物の硬化コンクリートに対しても有効であることがわかった。

参考文献

- 1) 高田潤, 立松英信: 水酸化カルシウムの X 線回折パターンと水和反応, 石膏石灰学会第 90 回学術講演会講演要旨, pp.88-89, 1995.
- 2) 溝口他: Ca(OH)₂ の特性による水セメント比の評価, 無機マテリアル学会第 103 回学術講演会講演要旨, pp25-26, 2001

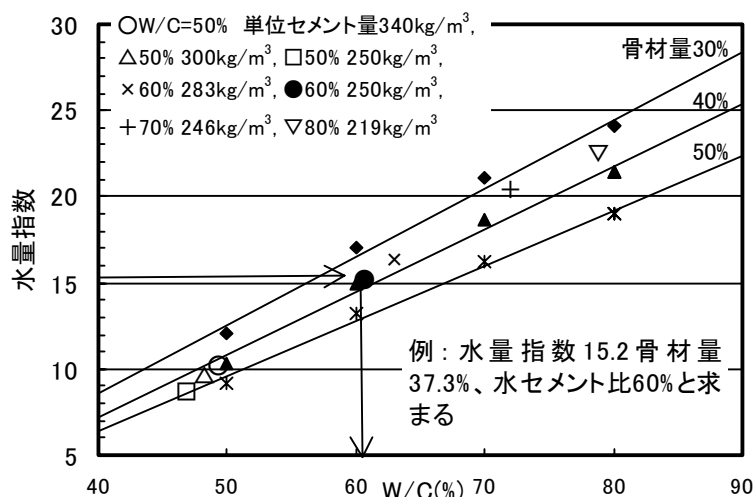


図3 水量指数と骨材量とW/Cの関係とW/C算出例

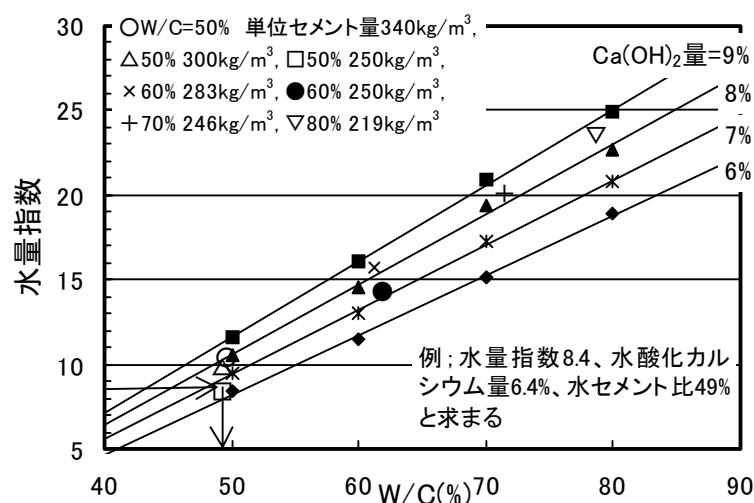


図4 水量指数と水酸化カルシウム量とW/Cの関係

表2. 実構造物における水セメント比(W/C)の推定例

試料	期間/年	水セメント比(W/C) (%)		
		セメント協会法(F-18)による算出	中性化試験による算出	水量指数法による算出
高架橋	23	96	50~58*	54
高架橋②	23	88	50~58*	56
高架橋③	23	102	50~58*	56
高架橋④	27	94	73	77
高架橋⑤	27	108	67	64
高架橋⑥	25	90	67	64
トンネル2次シールド	25	81	59	77

*近接コアの中性化深さから算出した参考値