

[18] 高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの劣化

正会員 ○ 魚 本 健 人 (東 大 生 研)
 正会員 小 林 一 輔 (東 大 生 研)
 正会員 星 野 富 夫 (東 大 生 研)

1. はしがき

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートは、強度面では普通ポルトランドセメントコンクリートに劣らぬ性質を有しており、長期材令においてはむしろそれ以上の強度を示すことが明らかにされている。¹⁾しかし、この種の結合材を用いたコンクリートでは、従来から表面の劣化²⁾や凍結融解に対する抵抗性³⁾などの耐久性に関する課題点が指摘されている。この結合材を汎用のセメントとして利用するためには当然、これらの問題に関する検討が必要であるが、その中でも特にコンクリート表面の劣化に関する検討は、この結合材の実用化をはかる上で重要な問題となる。そこで本文ではコンクリート表面の劣化現象について実験的に検討した。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

結合材料としては、表-1に示す高炉水砕スラグ粉末、排煙脱硫石こうおよび普通ポルトランドセメントを混合して使用した。なお、結合材の配合比は重比重で スラグ：セッコウ：セメント = 85：13：2 のものを基準とした。さらに配合比を変化させた場合についても（スラグ：セッコウ：セメント = (60~98)：(0~38)：(2~20)）実験を行った。

骨材は富士川産の川砂（比重2.65, 吸水量2.41%, F.M. 2.85）および最大寸法20mmの秩父両神産の砕石（比重2.69, 吸水量0.78%, F.M. 6.80）を使用した。

2.2 実験方法

基準配合比の結合材を用いた場合については、コンクリートの配合をW/C = 40, 55, 70%の3種類とし、スランブが7 ± 1 cmとなるよう定めた。また、結合材配合比を変化させた場合についてはW/C = 40, 50, 65%の3種類とし、スランブが7 ± 1 cmとなるように配合を定めた。

供試体はφ10×20 cmの圧縮強度用供試体を基準とし、水中養生（20℃）並びに、気中養生（初期水中養生7日、気中養生条件：20℃, 50%, R.H.）を行った。なお、基準配合比の結合材の場合には、φ15×15 cmの引張強度用供試体及び10×10×40 cmの曲げ強度用供試体もあわせ作成し、同様の養生を行った。

上記供試体は全て所定材令毎に、強度試験を行い、中央断面における中性化深さを調べた。中性化部分の判定にはフェノールフタレイン溶液を用い、測定は1/20mm精度のノギスで行った。なお、中性化部分と非中性化部分の違いを調べるため、供試体からベスト部分を取り出し、X線回折試験及びポロシチーの測定（水銀圧入式）を行ったが、完全にベストと骨材を分離することはできなかった。

表-1 結合材料の品質

	比重	粉末度 (cm ³ /g)	化 学 成 分 (%)								
			ig.loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	T-S	合計
高炉水砕スラグ	2.89	4,320	1.0	2.4	32.9	12.3	0.9	6.0	41.0	1.0	97.5
排煙脱硫石こう	2.33	1,580	20.2	0.5	0.3	0.1	0.2	0.1	32.6	45.4	99.4
普通ポルトランドセメント	3.16	3,330	0.4	0.1	22.0	5.4	3.1	1.4	64.5	2.2	99.1

3. 実験結果と考察

3.1 表面劣化現象

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの表面劣化現象としては、打設面の硬化不良現象と写真-1に示すような硬化コンクリートの Absanden 現象とに分けることができる。これらの現象はいずれも空気中の CO_2 によるものであるとされている²⁾。前者の場合には打設後表面を密閉する方法(例:写真-2)、後者の場合にはコンクリート面にペイント等を塗布する方法で防止することが可能である。しかし、これらの現象が生じた場合のコンクリートの品質の劣化に関しては、不明な点が多い。

3.2 表面劣化とコンクリートの中性化

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの表面劣化が空気中の CO_2 によるものであるとすれば、劣化を生じた部分は中性化も進行しているものと考えられる。そこでコンクリートの中性化部分及び非中性化部分に対し、X線回折試験およびポロッチーの測定を行った。その結果を図-1および図-2に示す。

X線回折試験結果をまとめると次のようになる。

- (1) 中性化しない部分ではエトリンガイトの回折強度が大きく、石こう、炭酸カルシウムの回折強度は殆んど認められない。
- (2) 中性化した部分ではエトリンガイトの回折強度が小さく、石こうおよび炭酸カルシウムの回折強度が大きい。
- (3) Absanden 現象で剥落した粉末のX線回折試験結果は、中性化した部分とほぼ同様な結果となっており、特に炭酸カルシウムの回折強度が大きい。

次にポロッチーの測定結果をまとめてみると以下のようになる。

- (1) 中性化した部分は、中性化しない部分に比べ全空隙量(T.P.V.)が大きく、2倍以上の値となっている。
- (2) 中性化した部分は、中性化しない部分に比べ細孔半径の大きなものの割合が大きく、 $750\text{\AA} \sim 7500\text{\AA}$ の半径の空隙が非常に多い。

以上の結果を総合して考えると、中性化した部分では CO_2 の浸透により水和反応の停止、さらには水和生成物(エトリンガイト)の分解が起り、コンクリートマトリックスは多孔質なものになっていると推定される。

上記のように中性化された部分のペーストが多孔質なものであるならば、一般的にはその部分の強度が低下するものと考えられる。そこで、比較のために同じ材料で、水中養生期間13週のコンクリート強度とT.P.V.との関係を調べたものを図-3に示す。この図から明らかなようにT.P.V.が増大するほど

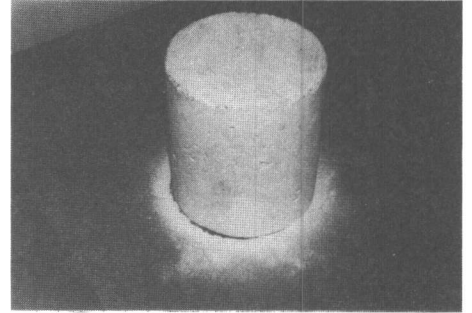


写真-1 Absanden 現象

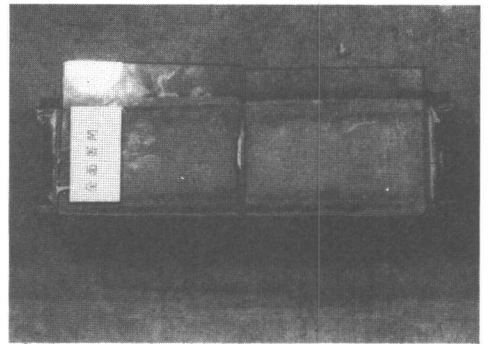


写真-2 打設面の密閉

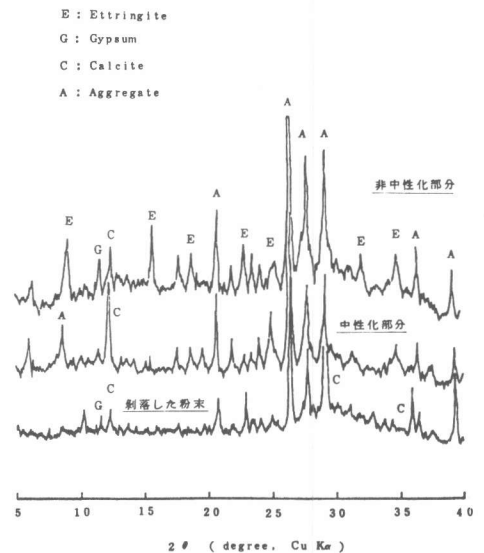


図-1 X線回折試験結果

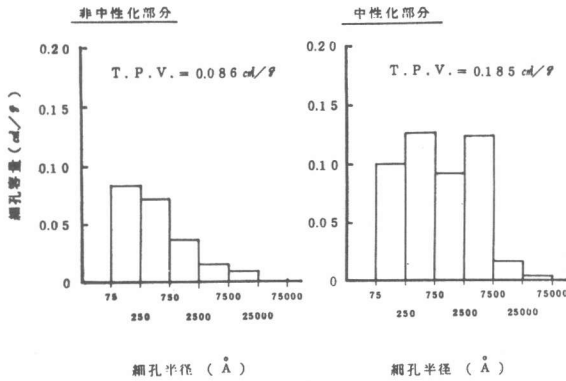


図-2 中性化によるポロシチーの変化

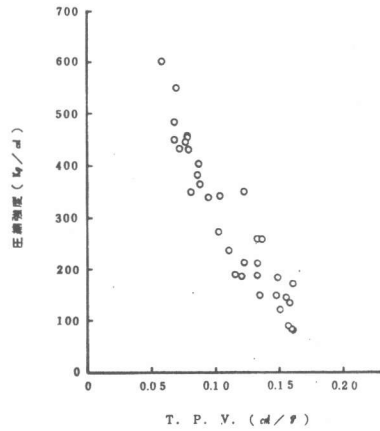


図-3 圧縮強度とT.P.V.

圧縮強度は低下することが認められる。図-3と図-2を比較すると、非中性化部分では約400Kg/cm²の強度を有しているにもかかわらず、中性化部分では100Kg/cm²程度の強度であると考えられ、中性化により強度は大幅に低下していると推定される。

3.3 コンクリート強度と中性化

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの圧縮強度が養生条件によりどのように変化するかを示したものが図-4である。この図より次のことが認められる。

- (1) 水中養生を行った場合、圧縮強度は材令とともに増大し、横軸を対数で取るとほぼ直線的に強度は増加している。
- (2) 気中養生を行った場合、圧縮強度の増大は材令4週程度までであり、それ以降の強度はわずかではあるが、減少する傾向が見られる。

一方、これらの供試体の中性化深さを調べると、水中養生を行った場合には殆んど認められないが、気中養生を行った場合には図-5に示すような結果となった。この図から、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートは普通ポルトランドセメントコンクリートに比べ中性化速度が著しく早く、また、W/Cの大きなものほどその傾向が大であることが明らかである。

そこで、中性化深さと圧縮強度との関係を調べるため、水中養生した場合の強度に対する気中養生時の圧縮強度比と、気中養生した場合の供試体の全断面積に対する非中性化面積率との関係を図-6に示す。

この図から明らかなように、圧縮強度比と非中性化面積率との間には非常に良い相関性がある。即ち、中性化深さが増大し非中性化面積率が小さくなるほど水中養生時に対する気中養生時の強度比は減少し、非中性化面積率は圧縮強度比とほぼ正比例の関係にあると言えよう。

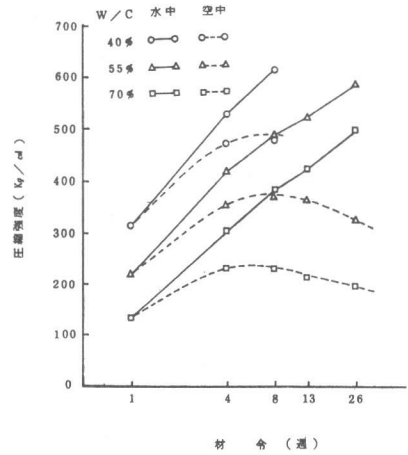


図-4 圧縮強度と材令

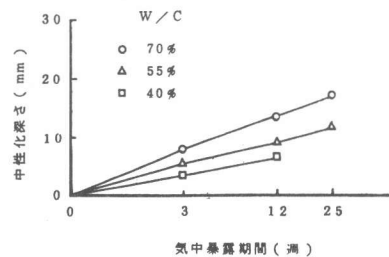


図-5 中性化深さの変化

これと同様な傾向は、曲げ強度および引張強度の場合についても認められ、その結果を図-7に示す。

以上の結果から、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートでは、水中養生時の強度は材令に伴ない著しく増大するが、気中養生とした場合には空気中のCO₂による中性化により、その部分の強度が著しく低下するといえよう。

3.4 結合材配合比による影響

高炉スラグ・セッコウ系結合材の結合材配合比を変化させた場合の表面劣化を調べると、図-8に示すような結果となり材令13週までは次のことが明らかとなった。

(1) 普通ポルトランドセメントの割合が2%の場合には、スラグと石こうの割合を変化させても図-6と同様な傾向を示す。

(2) 普通ポルトランドセメントの割合が10%以上の場合にはいわゆるAbsanden現象は見られなかった。

(3) 普通ポルトランドセメントの割合が10%以上でも、全く石こうを含まない場合には、図-8のように強度比の低下が見られる。

(4) 普通ポルトランドセメントの割合が10%以上で石こうを10%以上含むものは、中性化深さの増大は見られるものの、強度比の低下はほとんど見られない。

(5) 普通ポルトランドセメントの割合が2%の場合、水中養生時の強度はほぼ普通ポルトランドセメントに匹敵する値となるが、普通ポルトランドセメントの割合が10%及び20%の結合材ではそれぞれ約40%および60%の強度である。

以上の結果から、結合材料のうち、普通ポルトランドセメントの割合を増大させれば、いわゆるAbsanden現象を防止することができるが、水中養生時の強度が低下し、また、石こうを全く含まない場合には、強度比の低下が見られる。

4. 結論

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材の表面劣化について実験的に調べた結果、表面劣化は空気中のCO₂による水和反応の停止、さらには水和生成物の分解によるものであると推定される。その結果、その部分のコンクリートマトリックスはポーラスとなり、強度低下を起すが、その強度比は非中性化面積率とほぼ比例している。なお、結合材料のうち普通ポルトランドセメントの割合を増大させると表面劣化を防止できるが、その場合には水中養生時の強度が低下する。最後に、本研究に対し、昭和54年度文部省科学研究補助金が交付されたことを付記する。

<参考文献> 1) 魚本他：生産研究，1979.10, 2) 田中他：セメント技術年報Ⅺ，1957, 3) 小林他：土木学会年次学術講演会（第32回），1977, 4) 魚本他：土木学会年次学術講演会（第34回），1979

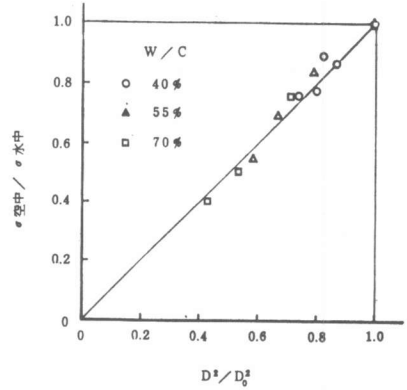


図-6 圧縮強度比と非中性化面積率

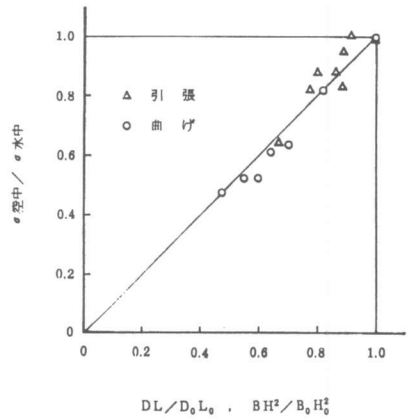


図-7 曲げ強度比および引張強度比と非中性化剛性率および非中性化面積率

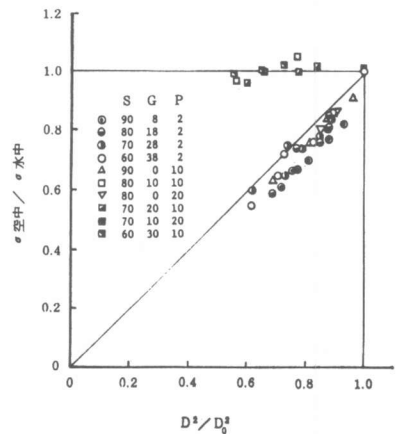


図-8 結合材配合比を変化させた場合の圧縮強度比と非中性化面積率