

[46] 高炉セメントコンクリートの性質に及ぼす 空気量のちがいの影響

正会員 ○依田 彰彦 (足利工業大学工学部)

正会員 横室 隆 (足利工業大学工学部)

1. はじめに

高炉セメント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と比較して所要のワーカビリティを得るに必要な単位水量が少なくすむうえに、同一圧縮強度に基づく一般的な性質に大きな相違がなく、省資源・省エネルギーの要請されている

今日、高炉セメントの使用量は年々増加の一途をたどっている。

本研究は、高炉セメントコンクリートの性質に関して既に詳細に研究している¹⁾中で、あまり明確となっていない図1に示す空気量のちがいが及ぼす影響について究明したものである。

2. 使用材料

a. セメント：表1～2に示す品質のd社製のスラグ混合量45%の高炉セメントB種を用いた。b. 骨材：表3に示す品質の鬼怒川産を用いた。c. 水：表4に示す水質のものを用いた。d. 化学混和剤：主成分がオキシカルボン酸塩のf社製のA E減水剤を用いた。

3. 実験計画

3.1 計画調査

a. スランブ：16.5～17.5cm。 b. W/Cと空気量との組合せ：図1に示す。

3.2 コンクリートの練りませ及び供試体の作り方 コンクリートの練りませには容量100ℓの強制攪拌式ミキサを用い、砂・砂利は、ともに表乾状態のものを用い、JIS A 1138

(試験室におけるコンクリートの作り方)及びJIS A 1132(コンクリートの強度試験用供試体の作り方)によって供試体を製作した。なお、1バッチの大きさは90ℓ、1種類のバッチ数は2、また、製作日は昭和59年1月13日～27日である。

3.3 実験の項目と方法

- ワーカビリティ：スランブ試験におけるコンクリートの状態から判定した。
- スランブ：JIS A 1101(コンクリートのスランブ試験方法)によった。
- 空気量：JIS A 1128(まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法)によった。
- ブリージング量：JIS A 1123(コンクリートのブリージング試験方法)によった。
- 圧縮強度：JIS A 1108(コンクリートの圧縮強度試験方法)によった。養生は標準と屋外(冬季開始)に放置した。
- ヤング係数：圧縮強度の測定時にコンプレッソメーターを用いて歪を測定し、最大荷重1/3における点のヤング係数を求めた。

表1 使用高炉セメントB種の化学成分(%)

ig.loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	S
1.0	0.9	26.5	8.8	1.7	53.7	3.8	1.3	0.35	0.42	0.80	0.4	0.20	0.4

表2 使用高炉セメントB種の物性

比重	比表面積 (cm ² /g)	凝結(h-m)			安定性	フロー (mm)	曲げ強さ(kgf/cm ²)			圧縮強さ(kgf/cm ²)		
		水量	始発	終結			3日	7日	28日	3日	7日	28日
3.05	3630	28.5	3-02	4-04	良	269	29	40	75	110	200	434

表3 使用骨材の品質

種類	表乾 比重	吸水率 (%)	単容 比重 (kg/ℓ)	洗い 損失量 (%)	有機 不純物	ふるいを通るものの重量百分率(%)										粗粒率 は 最大寸法 (mm)
						ふるい目(mm)										
						25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
川砂	2.57	2.46	1.70	1.9	うすい	—	—	—	—	99	84	68	46	18	6	2.77
川砂利	2.60	2.26	1.72	0.8	—	100	71	52	27	0	—	—	—	—	—	25

表4 使用水質(足利保健所報告)

色	濁度	水 イオン 濃度 (pH)	蒸 発 塩 留 率 (ppm)	塩 素 イ オン (ppm)	過マンガン 酸カリウム 消費量 (ppm)
5度以下	2度以下	6.6	250	8.8	0.2

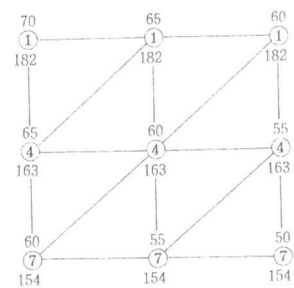


図1 W/Cと空気量との組合せ
〔図中、○内の数値は目標空気量(%)を、○上の数値はW/C(%)を、○下の数値は単位水量(kg/m³)を、それぞれ示す〕

〔注〕※足工大構内に放置した。
1年間の気象条件は次の通り
・温度 2.2～26.2℃
・湿度 58～80%
・風速 2.5m/s～1.2m/s
・CO₂濃度 0.03%

- g. 引張強度：JIS A 1113 (コンクリートの引張強度試験方法) によった。
- h. 乾燥収縮率：JIS A 1129 (モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法) のコンパレータ法によった。
- i. 凍結融解作用に対する抵抗性：ASTM C 666 (Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing) によった。
- j. 中性化深さ・鉄筋の発錆：10×10×40cmの供試体中にみがき鉄筋2本(かぶり厚さ2cm及び3cm)を埋込み、中性化深さと鉄筋の発錆を測定・観察した。すなわち、供試体は材令28日から、ごく普通の屋外に放置し、中性化深さは測定時にコンクリートカッターを用いて切断し、その切断面に対し1%のフェノールフタレインアルコール溶液を噴霧し、紫赤色にならなかった部分を中性化したものと見なし、その深さはノギスを用いて測定した。その後、鉄筋を取り出し、発錆状況を見た。
- k. 耐熱性：10φ×20cmの供試体を用い、材令91日から110℃の電気乾燥器の中へ入れた。温度の昇降速度は0.5℃/hr という緩かさで、圧縮強度を究明した。

l. 耐薬品性：10φ×20cmの供試体を用い材令91日から0.2%濃度のHCl (pH1.0に相当) 溶液中に浸漬した。なお、HCl溶液は一週間ごとに新しいものと取り換えた。また、溶液の温度は20℃である。

4. 実験結果と考察

表5及び図2～15に示す。

a. 練り混ぜたコンクリートのワーカビリティは、すべて良好であった(表5参照)。

b. ブリージング量は、いずれも0.5cm³/cm³以下であったが、空気量のちがいによる傾向は認められなかった(表5参照)。

c. 圧縮強度は、①空気量の大小にかかわらず空気量がほぼ一定なら、当然であるが標準養生でも屋外放置でもセメント水比との関係で表示することができる(図2～3参照)。②ほぼ同一の圧縮強度(W/Cを5%づつ小さくした場合)と空気量との関係をNo.4 (W/C65%、空気量1.0%)、No.5 (W/C60%、空気量3.7%)、No.6 (W/C55%、

空気量6.3%)とで比較すると図4に示す通り、空気量3.7%のコンクリートの圧縮強度が最も大きく有利で、以下空気量6.3%、1.0%の順である。空気量1.0%の圧縮強度が最も小さく空気量3.7%(1位)と6.3%(2位)が有利なのは使用したAE減水剤の成分が圧縮強度増進に寄与したものと考えられる。③同一水セメント比における空気量と圧縮強度との関係をNo.3 (空気量6.1%)

No.5 (空気量3.7%)、No.7 (空気量1.0%)とで比較すると図5に示す通り空気量3.7%のコンクリートが若干だが最も大きく、以下空気量1.0%、6.1%の順である。④標準養生に対して屋外放置した場合の圧縮強度比は図6に示す通り、すべ

表5 実際に得られたコンクリートの調査とブリージング・中性化深さ・発錆状況

No	W/C (%)	スラ ンプ (cm)	空気量 (%)		細骨 材率 (%)	単位 水量 (kg/m ³)	ワーカ ビリチ ー	ブリージ ング量 (cm ³ /cm ³)	中性化 深さ (mm)			鉄筋の 錆状 況
			目標	実際					材令3	材令5	材令日	
1	7.0	17.5	1.0	1.1	44.0	182	良	0.46	5.1	なし		
2	6.5	16.5	4.0	3.9	42.7	163	良	0.29	5.0	なし		
3	6.0	17.5	7.0	6.1	41.5	155	良	0.49	5.5	なし		
4	6.5	17.5	1.0	1.0	42.5	182	良	0.34	4.6	なし		
5	6.0	17.0	4.0	3.7	41.1	163	良	0.29	4.2	なし		
6	5.5	17.0	7.0	6.3	39.8	155	良	0.41	4.5	なし		
7	6.0	17.0	1.0	1.0	41.0	182	良	0.31	2.3	なし		
8	5.5	17.5	4.0	3.8	39.6	163	良	0.29	2.3	なし		
9	5.0	17.5	7.0	6.1	38.1	156	良	0.50	2.4	なし		

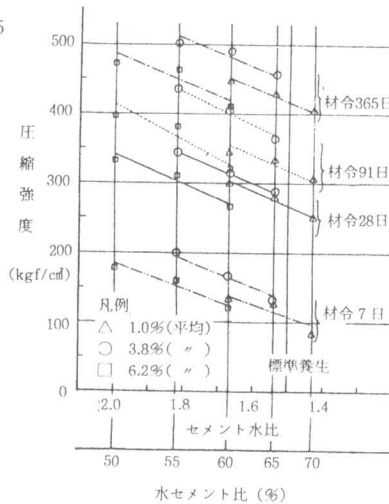


図2 セメント水比と圧縮強度との関係

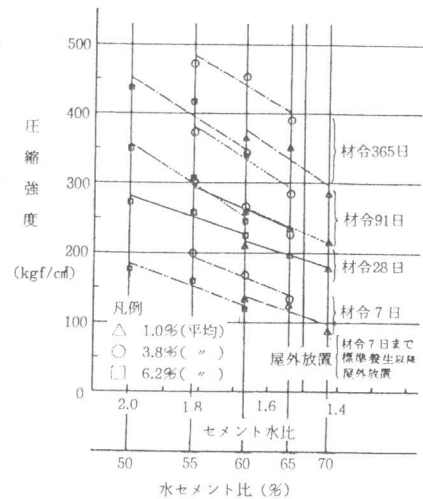


図3 セメント水比と圧縮強度との関係

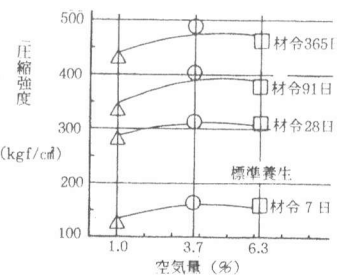


図4 ほぼ同一の圧縮強度(No.4～6)における空気量と圧縮強度との関係

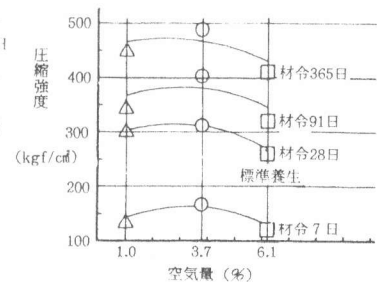


図5 同一水セメント比(60%)における空気量と圧縮強度との関係

ての場合において70%をこえている。図6を細かく見ると空気量の差違(図6をそれぞれ縦に比較する)では3.8% (平均)が最も大きく有利で、以下6.2% (平均)、1.0% (平均)の順である。また、ほぼ同一の空気量における水セメント比の差違(図6をそれぞれ横に比較する)では水セメント比が小さいほど圧縮強度比は大きく有利である。⑤以上①~④をまとめると空気量3.8% (平均)がいずれの場合でも有利である。

d. ヤング係数は、図7に示す通りいずれの材令においても空気量3.7%が若干大きいようで、以下空気量1.0%、6.1%の順で、この傾向は圧縮強度と似ている(4. c.③参照)

e. 引張強度は、図8に示す通りで材令7日、28日では、空気量3.7%が若干大きく最も有利で、以下空気量6.1%、1.0%の順である。材令91日、182日、365日では空気量6.1%が若干大きく最も有利で、以下空気量1.0%、3.7%の順である。

f. 乾燥収縮率は、先ず図9~10を見ると空気量3.7%が若干だが最も小さく、以下空気量1.0%、6.3%又は6.1%の順である。空気量3.7%が1.0%より小さい理由は単位水量が少ないことと、使用したA/E減水剤の成分が低減に若干影響したものと考える。次に同一空気量(平均3.8%)及び同一単位水量(平均163kg/m³)におけるW/Cの差違を図11で見るとW/Cが小さいほど乾燥収縮率は若干小さい。

g. 乾燥に伴う重量減少率は、紙面の都合上データを示していないが、要約すれば乾燥収縮率の傾向と似ている。

h. 相対動弾性係数は、図12~13に示したが、いずれの場合も明らかに空気量のちがいで異なる。すなわち、空気量6.2% (平均)が最も有利で以下空気量3.8% (平均)、1.0% (平均)である。とくに前者、中者の空気量のコンクリートはよいが後者の1.0%の場合はかなり不利である。

i. 中性化深さ・鉄筋の発錆状況は材令365日(1年)において測定した。先ず中性化深さを表6に示したが、ほぼ同一の圧縮強度(No.1~3、No.4~6、No.7~9がそれぞれ同一)に基づいて比較するとNo.1~3が若干だが最も大きく、以下No.4~6、No.7~9の順である。また、同じ組合せ内での中性化深さの差違は小さい。いいかえると空気量のちがいによる差違は小さい。次に鉄筋の発錆は、いずれの場合も認められていない。現在、さらに長期材令に向かってコンクリート供試体を屋外自然暴露していることを付記する。(注)***たとえばNo.1~3またはNo.4~6あるいはNo.7~9をいう。

j. 110°Cの電気乾燥器の中へ材令91日から3ヶ月間及び9ヶ月間放置したコンクリートの圧縮強度と同じ期間標準養生した場合の圧縮強度に対する

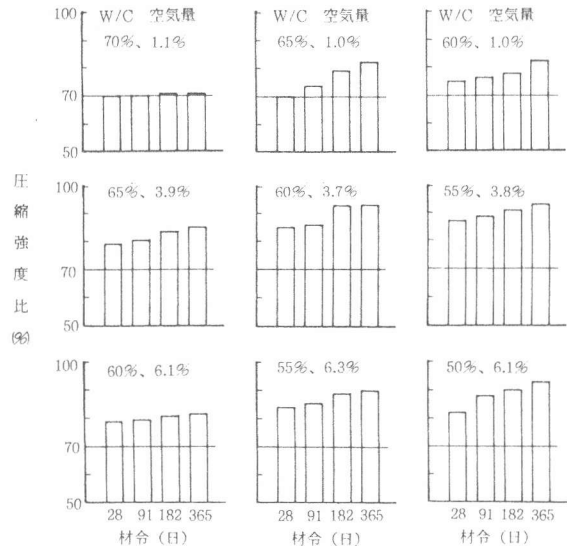


図6 標準養生に対する屋外放置した場合の圧縮強度比

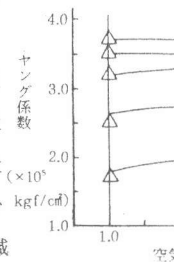


図7 同一水セメント比(60%)における空気量とヤング係数との関係

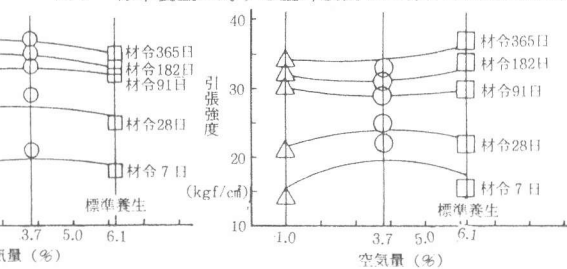


図8 同一水セメント比(60%)における空気量と引張強度との関係

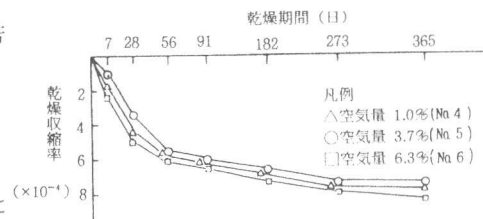


図9 ほぼ同一の圧縮強度(No.4~6)における空気量と乾燥収縮率との関係

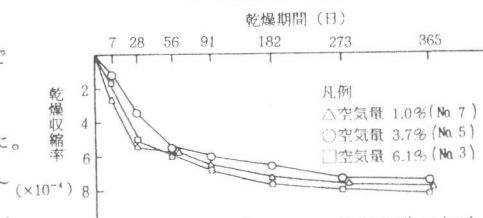


図10 同一水セメント比(60%)における空気量と乾燥収縮率との関係

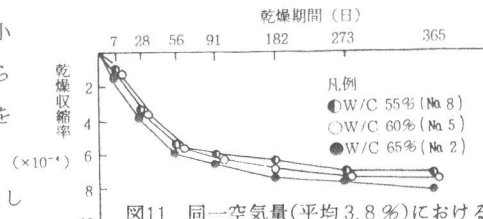


図11 同一空気量(平均3.8%)におけるW/Cと乾燥収縮率との関係

比は図14に示す通り空気量の多いコンクリートの方が若干だが大きい。これは空気量が多いと熱が拡散しにくく、むしろ標準養生した圧縮強度に影響されたものと考えられる。

k. 0.2%のHCl (pH 1.0に相当) 溶液 (温度20°C) 中へ材令91日から3ヶ月間及び9ヶ月間浸漬したコンクリートの

圧縮強度と同じ期間標準養生した場合の圧縮強度に対する比は図15に示す通り空気量の多いコンクリートの方が若干小さい。この理由は表5のブリージング量及び中性化深さの結果にみられるように空気量が多いとHCl溶液が浸入しやすいものと考えられる。

1. 本実験研究各結果の変動係数は総じて8.5%以下であった。

5. 結論

本実験研究結果から結論として次のようなことがいえる。

a. 練り混ぜたコンクリートのワーカビリティはいずれも良好で、また、空気量が多いほど減水できる。その減水率はブレン (空気量1%前後) コンクリートに対して空気量3.8%前後では10%程度、空気量6.2%前後では15%程度である。

b. ブリージング量はJASS 5の“常用”コンクリートの目標値 (0.5 cm³/cm³以下) を満足するが、空気量のちがいによる傾向は見い出せなかった。

c. 圧縮強度は、①空気量の大小にかかわらず空気量がほぼ一定なら標準養生・屋外放置ともセメント水比との関係で表わすことができる。②W/Cを5%づつ小さくした場合 (図6をそれぞれ縦に比較した場合)、空気量3.8% (平均) のコンクリートが若干だが最も大きく、以下6.3%、1.0%の順であった。これは使用したAE減水剤の成分が影響したものと推察する。③同一水セメント比で比較しても空気量3.7%が若干だが最も大きく以下1.0%、6.1%の順であった。理屈では空気量が少ないほど圧縮強度が大きいと思うが、いま述べた通りの傾向が認められた。理由は②と同様と考える。④冬季に製作し、屋外放置したコンクリート供試体でも材令28日からは標準養生の70%以上の圧縮強度が確保できる。

d. 空気量のちがいによるヤング係数は、圧縮強度の傾向と似ている (5. c. ③参照)。しかしその差は小さい。

e. 空気量のちがいによる引張強度は、材令によって異なるがその差は小さい。

f. 乾燥収縮率は、使用したAE減水剤の成分が影響したためか空気量3.7%が若干小さく以下1.0% (平均)、6.2% (平均) の順で、W/Cの差は若干だがW/Cの小さい方が小さい。また乾燥に伴う重量減少率は乾燥収縮率の傾向に似ている。

g. 相対動弾性係数は、空気量6.2% (平均) 及び3.8% (平均) が有利とくに前者がよい。

h. 材令365日の中性化深さは空気量による差は小さいが、強度 (W/C) が異なれば差が認められる。すなわち、強度が大きい方が小さい。また、中性化コンクリート供試体に埋込んだ鉄筋の発錆はいずれの場合も認められなかった。

i. 110°Cの耐熱性状は、空気量の大きい方が若干だが有利である。

j. pH 1.0相当のHCl溶液中の耐薬品性状は、空気量の小さい方が若干だが有利である。

k. 以上a~jを総括すると空気量3.8% (平均) のコンクリートの性質は空気量6.2% (平均)、1.0% (平均) のコンクリートより特別の性能を除いて総的に優位であることが明確となった。特別の性能とは凍結融解作用に対する抵抗性や耐熱性状などで、これらは空気量が多いほど、また耐薬品性状は空気量が少ないほど、それぞれ優位である。

本実験は当研究室の印南、内田、大島、落合、小島、門脇、島田、立川、中山、埴君らの協力を得たことを付記し深謝する。

参考文献

1) 依田; 産業副産物高炉スラグのコンクリート用セメント、混和材、骨材への有効利用に関する実験研究、研究論文 (1983)

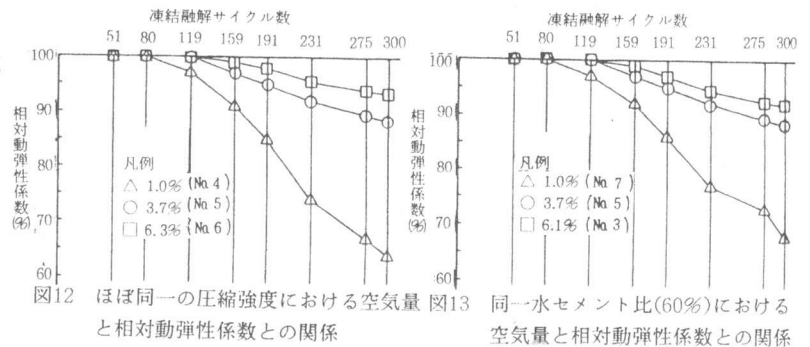


図12 ほぼ同一の圧縮強度における空気量と相対動弾性係数との関係

図13 同一水セメント比(60%)における空気量と相対動弾性係数との関係

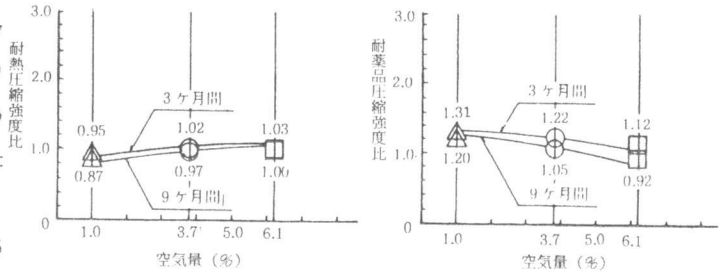


図14 同一水セメント比(60%)における空気量と耐熱圧縮強度比との関係

図15 同一水セメント比(60%)における空気量と耐薬品圧縮強度比との関係