

論文 ドライコンクリートに関する研究

古賀 一八*1・衣笠 秀行*2・山本 佳城*3・重倉 祐光*4

要旨: 特殊用途 (長距離運搬, 少量・長時間打設, 超高強度, 超軽量, 高流動, C F T, カラーコンクリート等) に対応が可能なドライコンクリートの研究である。ドライコンクリートは水以外の乾燥した材料をあらかじめ工場で配合し, 現場で加水・打設する。本研究は, ドライコンクリートの基礎的性状と耐久性について検討した。静水中 15 分後の吸水率を元に加水量を定め, $5\text{N}/\text{mm}^2$ の強度補正值を定めることで, 通常のコンクリートと比較して, 同等のスランプ・圧縮強度が得られ, 中性化速度は同等であるが, 吸水率の高い骨材では乾燥収縮は若干大きく凍結融解抵抗性は飛躍的に向上することが認められた。

キーワード: ドライコンクリート, 骨材, 吸水率, 特殊用途

1. はじめに

今日, 日本のコンクリートは生コン工場で計量・加水・練混ぜられ各工事現場に搬入される, レディーミクストコンクリートという形で供給・普及されている (以下 Wet コンクリート)。しかし, 施工現場が生コン工場から遠距離にある場合, 現場にアジテータ車が進入できない場合, 特殊用途 (超高強度, 超軽量, 高流動, C F T, カラーコンクリート等) の場合等, 現在のコンクリートの製造・供給の形態では充足できない部分がある。

ドライコンクリートとは, 水以外の乾燥した材料を目的に応じた要求性能に合わせて予め工場で配合・混合し, 袋・サイロ等で密封したものの (Packaged Dry Combined Materials for Concrete) である (以下 Dry コンクリート)。適量の水を混入する事で, 施工現場において必要時に必要量コンクリートの供給が可能となる。

2. 研究目的

Dry コンクリートは練混ぜ時における乾燥骨材の吸水量を単位水量とは別に設定し, 補正水

量として混入する必要がある。本研究は密度, 吸水性状の異なる乾燥骨材を使用した配合計画から施工に関する基礎的実験を行ったものである。

3. 実験概要

硬化コンクリートの試験項目及び試験方法を表-1 に示す。練混ぜはパン型強制攪拌ミキサーを用いた。

表-1 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度	JIS A 1108 標準水中養生 28 日
静弾性係数	JIS 原案 標準水中養生 28 日
長さ変化	JIS A 1129 コンパレータ法
凍結融解	JIS A 6204 付属書 2
中性化	高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案) 付録 1 促進条件: 20°C, 60%RH, CO ₂ 濃度 5%

3.1 使用材料

使用材料を表-2 に示す。なお, 文中図中の骨材記号は表-3, 4 による。105°C 炉内で 48 時

*1 (株)長谷工コーポレーション 技術研究所 上席主幹研究員 (正会員)

*2 東京理科大学 助教授 工学博士 (正会員)

*3 東京理科大学大学院 (正会員)

*4 東京理科大学諏訪短期大学 学長 工学博士 (正会員)

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント K28=61.6 N/mm ² 密度 3.16 g/m ³
AE 減水剤	淡褐色粉末系, C×0.25%
流動化剤	白色粉末系
骨材	表-3, 表-4 参照

表-3 使用粗骨材

種類または原材料	砕石	頁岩系	真珠岩系	発泡 ガラス系		
略号	S	M	SM	A	G	
最大寸法 (mm)	20	20	20	15	15	
粗粒率	6.87	6.36	6.34	6.44	6.11	
絶乾密度	2.69	1.31	0.87	0.83	0.51	
表乾密度	2.72	1.66	1.02	0.86	0.58	
吸水率 (24h)	(wt %)	0.87	26.50	22.60	4.08	13.40
	(vol %)	2.34	34.7	19.7	3.39	6.85
単位容積質量 (kg/l)	1.57	0.79	0.57	0.53	0.35	
実績率 (%)	60.2	62.4	68.4	60.3	69.0	

表-4 使用細骨材

種類または原材料	砕砂	陸砂	頁岩系	
略号	s	k	m	
最大寸法 (mm)	5	5	5	
粗粒率	2.99	2.15	2.66	
絶乾密度	2.65	2.57	1.68	
表乾密度	2.68	2.63	1.92	
吸水率 (24h)	(wt %)	1.48	2.47	14.00
	(vol %)	3.92	6.35	23.50
単位容積質量 (kg/l)	1.69	1.90	1.09	
実績率 (%)	68.0	72.3	68.4	

間乾燥したものを乾燥骨材として使用した。

3.2 静水中及びコンクリート中における吸水性状

乾燥骨材の経時的な吸水性状を静水中及びコンクリート中において確認した。更に使用骨材の吸水性状と補正水量の実測値との関係から補正水量決定方法を提案した。静水中およびコンクリート中の骨材吸水量の測定は下記の手順で実施した。

(静水中)

- ① 乾燥骨材をピクノメーター内に浸せき

- ② 水を満たし所定時間の質量測定

- ③ 吸水率計算
(コンクリート中)

- ① 骨材取出し

- ② ペースト除去

- ③ 質量測定

- ④ 乾燥

- ⑤ 残ペースト除去

- ⑥ 質量測定

- ⑦ ペースト分の補正

3.3 Dry コンクリートの基礎物性

Dry コンクリートのフレッシュ時、並びに硬化後の基礎物性を飽水状態の骨材を使用した Wet コンクリートと比較・検討した。ここでは、練混ぜ直後(加水7分後)において Wet コンクリートと同等のスランプ値を得るように補正水量を決定した。

3.4 ポンプ圧送時における圧力吸水性状

ポンプ圧送の実測値(圧送高 46m, 最大管内圧力 3Mpa)を基に、配管内の圧力分布を再現し、各種乾燥骨材の圧力吸水性状、及び圧力解除後の時間経過に伴う放水性状を加圧水中において確認した。

3.5 耐久性

基本的な耐久性状を確認するために、乾燥収縮、促進中性化、凍結融解性の試験を行った。

コンクリートの配合は、単位水量 170kg/m³、及び水セメント比 35, 45, (一部 60%) とし、使用骨材の組合せは A(S,s,k), B(M,s,k), C(M,m), D(SM,s,k)の4種類とした。

4. 実験結果及び考察

4.1 静水中及びコンクリート中における吸水性状

Dry コンクリートは所定の性能を得るために必要な水量を現場に加え、混練するので、練混ぜ、運搬、打込み、締め固め、までの作業が30分以内には終了する。従ってこれら一連の作業に関して、Dry コンクリートのワーカビリティには、乾燥骨材の30分間以内における吸水性

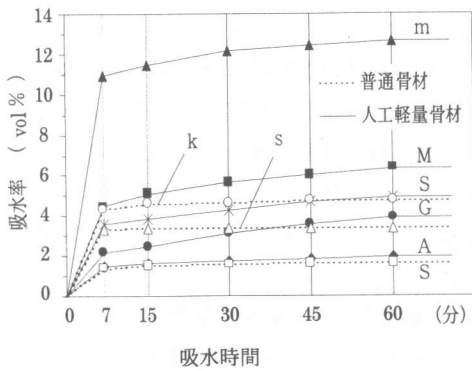


図-1 吸水経時変化(静水中)

状が最も影響を及ぼすと考えられる。

図-1に1時間以内における静水中の浸水時間と吸水率の例を示す。何れの乾燥骨材も、水に接した瞬間の吸水速度が急激であり、最初の15~30分間で大部分の吸水(1時間吸水の80~90%, 24時間吸水の40~80%)を示している。以後、浸水時間の経過に伴い吸水率が増加するが、吸水速度は次第に緩慢となる。コンクリート中における乾燥粗骨材の吸水性状は図-2に示す様に、その粘性(水セメント比:W/C)及び骨材種類の如何に関わらず、練混ぜ水投入後15~30分間でその大部分の吸水を起し、以後、時間経過に伴う吸水量の増加が静水中に比較し少ない。コンクリート中における吸水率は骨材の種類により異なるが、図-3に示す様に、ほとんどの骨材が静水中15分間における吸水率とコン

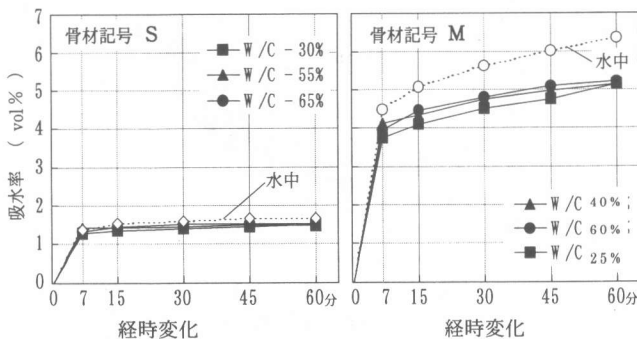


図-2 吸水経時変化(フレッシュコンクリート中)

クリート中の30分間吸水率との差が±0.3%の範囲にある。練混ぜ後30分以降では吸水率の増加が緩慢になる事からも、Dryコンクリートは使用骨材の水中15分間の吸水率を補正水量とすることで、そのコンシステンシーに及ぼす影響を最小限にすることが可能であると考えられる。

4.2 Dryコンクリートの諸物性

(1)フレッシュコンクリート

図-4に練り上がり直後に同一スランプとなるように補正水量を与えた場合の練混ぜ後の経過時間とスランプロスの関係を示す。吸水率の変化が小さい骨材(S, s+k)を使用したDryコンクリートでは骨材の吸水がコンシステンシーに及ぼす影響は少ない。これは乾燥骨材が練混ぜ中に、加えた補正水量のほぼ全量を急激に吸水し(図-2)、以後、フレッシュコンクリート中における吸水が静水中に比較し極めて少ないことを示唆するものである。この様な骨材を使用するDryコンクリートに関しては、練混ぜ直

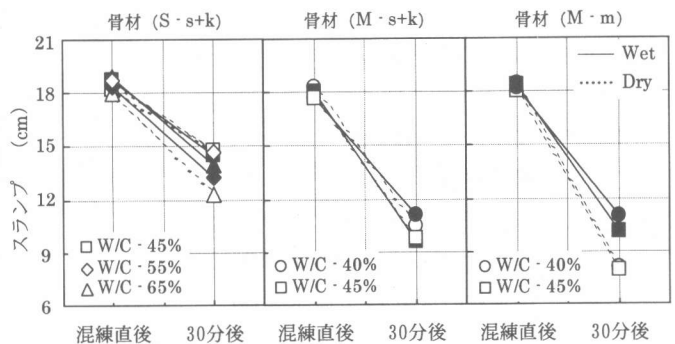


図-4 スランプ経時変化

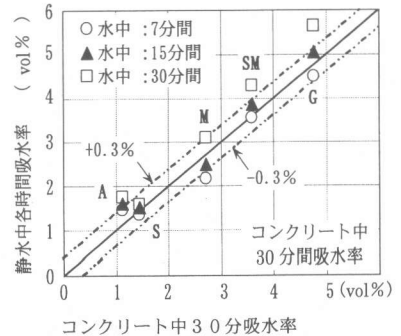


図-3 静水中-コンクリート中 吸水率の関係

後において Wet コンクリートと同スランプ値を得る補正水量を与えることで、そのワーカビリティを同程度に評価できると考えられる。

他方、乾燥骨材の吸水変化量が多い場合、練混ぜ後の吸水により、30分後まではスランプロスを更に増加させる (M, m)。しかし、コンクリート中においては、練混ぜ開始後 30 分以降は吸水量が著しく低下する為、以後のコンシステンシーに及ぼす影響は極めて少ないと考えられる。従って、作業時間内に所要のワーカビリティを必要とする場合、補正水量の決定は使用骨材における吸水の経時変化を考慮し、静水中 15 分間 (コンクリート中 30 分間) の吸水量を以て、補正水量の目途とするのが妥当と考える。

そこで以下骨材の水中吸水性状と補正水量について最も有効な関係を導くことにする。図-5 に使用骨材の水中 15 分間吸水量の総和 (W_{15}) と、Wet コンクリートと練混ぜ直後に同等のワーカビリティ (スランプ 15, 18, 21cm) を得た補正水量の実測値 (W_D') との関係を示す。

$$W_D = 0.91 \times \{ (q_{G15} \cdot G_g) + (q_{S15} \cdot S_g) \} + 1.02 \quad (1)$$

ここに

- W_D : 補正水量 (Kg/m³)
- G_g : 粗骨材量 (Kg/m³)
- S_g : 細骨材量 (Kg/m³)
- q_{G15} : 粗骨材の水中 15 分吸水率 (%)
- q_{S15} : 細骨材の水中 15 分吸水率 (%)

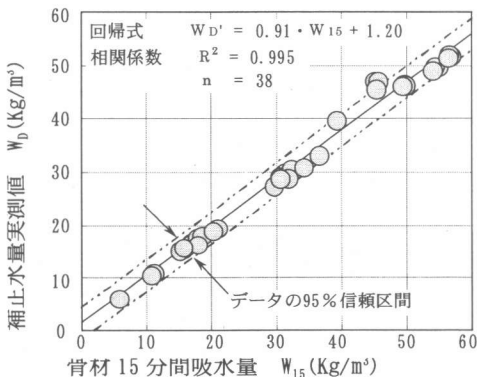


図-5 水中 15 分間吸水量と補正水量実測値

図-5の結果に基づき、Dry コンクリートに使用する乾燥骨材の水中吸水率による補正水量決定方法を次式の通り提案する。現実には、吸水率の大きい骨材は図-4に示したように、スランプロスが Wet コンクリートと比較して大きくなるので、別途作業時間を考慮したスランプロスに見合う補正水量を求める必要がある。

(2) 圧縮強度および静弾性係数

最初の練混ぜ後 30 分静置後再びミキサーで 1 分間練混ぜたものを練直し有り」と表記する。水中養生を行った Dry コンクリートと Wet の材令 4 週圧縮強度、及び密度の例を図-6 に示す。練直しを実施しない Dry コンクリートは、使用骨材の種類により圧縮強度が低下する場合がある。骨材 (S, s+k) を使用した Dry コンクリートは練直しの有無に関わらず、Wet コンクリートと同等の強度を示した。骨材 (M, m) では練直しを实

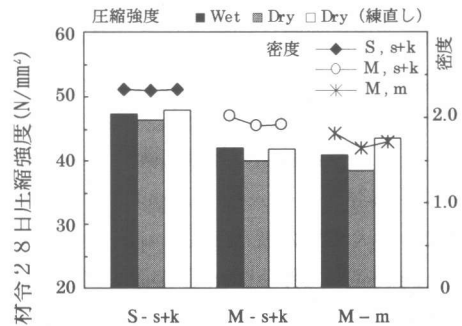


図-6 4週圧縮強度及び密度

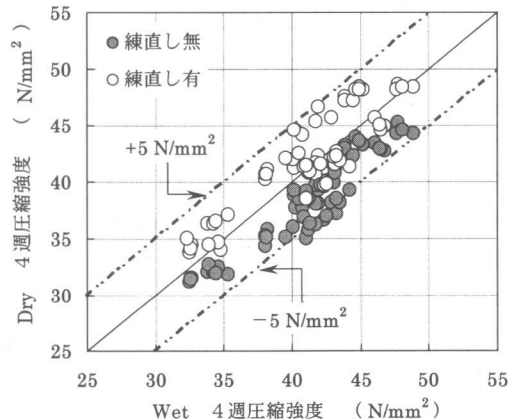


図-7 練直しの有無と圧縮強度の関係

施しない場合に強度低下を起こす。練り直しに伴う密度の変化はわずかであった。Dry コンクリートは練混ぜ時に、乾燥骨材の吸水に伴うセメントペーストへの急激な空気の放出が認められる。この空気泡は時間経過と共に逸散するが、コンクリート中における吸水量（排出空気量）が多量である骨材（M, m）を使用した場合には、骨材周囲の空気量過多が強度低下を及ぼすものとする。この強度低下は図-7 に示したように練直しを実施する事により、回復させることが可能である。硬化コンクリートの微細構造を観察した結果、乾燥骨材からの気泡排出に伴い骨材周囲に微細な気泡のリムを生じていた。練り直しによって気泡リムは消失する。吸水量の大きい骨材を用い、練り直しを行わない場合は $5N/mm^2$ の割増しが必要となる。以上の事からも Dry コンクリートの強度低下は骨材中の微細な気泡が骨材周辺にリムとして形成されたためであり、式(1)の補正水量は適切なものであると考える。静弾性係数は Wet コンクリートと Dry コンクリートとの有意差は認められなかった。

4.3 ポンプ圧送時における圧力吸水性状

Dry コンクリートをポンプ圧送する場合、乾燥骨材の内部気孔内に練混ぜ水が圧入される。従って、コンクリート中の単位水量が減少する事により、圧送前後での品質変化、及びスランプ低下に伴う配管内での閉塞が考えられる。試験結果を図-8 に示す。配管内においては根元の圧力が最大（本実験では 3MPa）となり、各骨材の吸水率は圧送開始直後に著しく増大する。こ

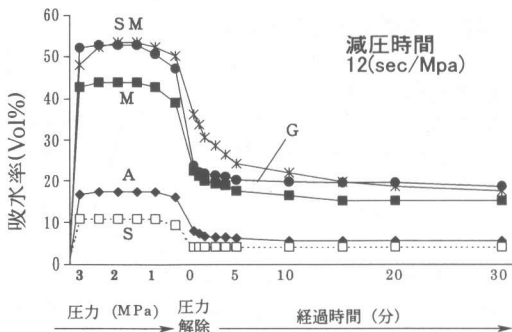


図-8 配管内の圧力吸水性状

の時点で吸水率がほぼ最大値に達し、吸水量は 24 時間吸水率を大きく上回る。配管内での閉塞、及び圧送後の放水現象を考慮すると、圧力吸水に見合う水量を圧送可能な最小限の範囲で配合上の単位水量に加える必要がある。初圧後、筒先への圧送に伴い管内圧力は減少するが、各骨材共に吸水率の変動は殆どなく、圧力低下に伴う圧送中の 1 次放水は認められない。圧力解放直後に何れの骨材も急激な放水現象を起こし、20~30 分間緩慢に続く。骨材は原料や製造方法によりその表面皮膜、内部組織、更には気孔分布、形成状態も異なる為、圧力による吸放水性状は静水中と相違を生じる。加圧吸水がコンクリートに及ぼす影響は、ワーカビリティ、分離やブリーディング、強度、耐久性に至るまで多岐に渡ると考えられる。ドライコンクリートをポンプ圧送する場合は、加圧吸水の大きい骨材は不適である。

4.4 耐久性状

(1) 乾燥収縮

乾燥収縮率の経時変化及び単位体積当たりの質量減少量と乾燥収縮率の関係を図-9, 10 に示す。使用骨材の吸水率が小さい場合 (A), 両者の質量減少量、及び乾燥収縮率は同程度であった。吸水率の大きい骨材 (B, C) を使用した Dry コンクリートは Wet コンクリートと比較して質量減少量が 1/2 程度であるにも関わらず、収縮率は Wet コンクリートよりも約 1.0×10^{-4} 大きい値を示した（乾燥材齢 26 週）。これらは骨材からコンクリート内部への放水量によ

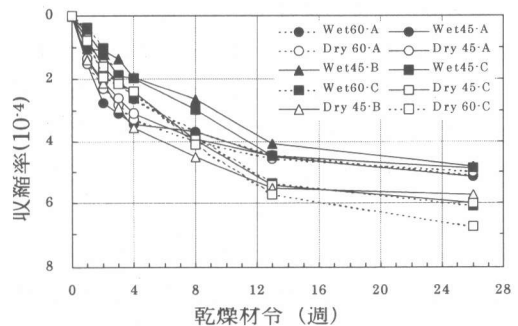


図-9 乾燥収縮率経時変化

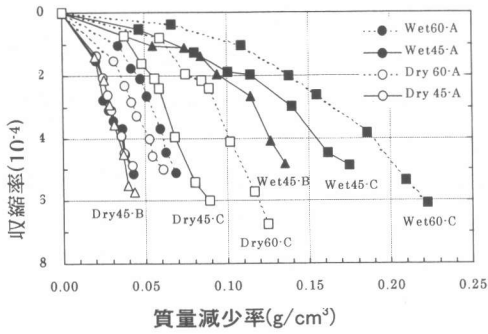


図-10 質量減少率と乾燥収縮率

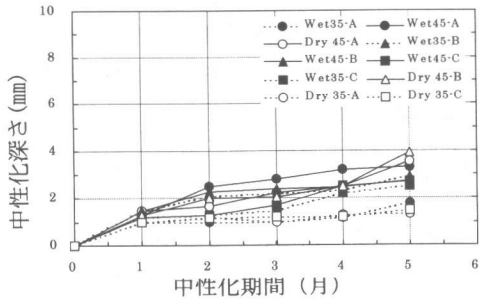


図-11 促進中性化深さ

る相違に起因したものと考えられる。

(2) 促進中性化

促進中性化試験の結果を図-11に示した。Dry コンクリートの中性化速度はWet コンクリートと同等である。

(3) 耐凍結融解性

骨材による影響を比較するため、コンクリートの空気量を2~3%とした。凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係を図-12に示す。吸水率の小さい骨材(A)を使用した場合、Wet コンクリートと同様に150サイクル終了時における相対動弾性係数の低下は認められない。

吸水率の大きい骨材(B, C)を使用した場合では、Wet コンクリートはサイクル数の増加に伴い相対動弾性係数が急激に低下し、100サイクル終了時にはほとんどが崩壊したのに対して、Dry コンクリートは150サイクル終了時においても相対動弾性係数は90%以上を確保し、乾燥骨材を使用したことにより圧力が骨材内部の空隙で緩和され凍結融解抵抗性が大幅に改善されたものと考えられる(写真-1)。

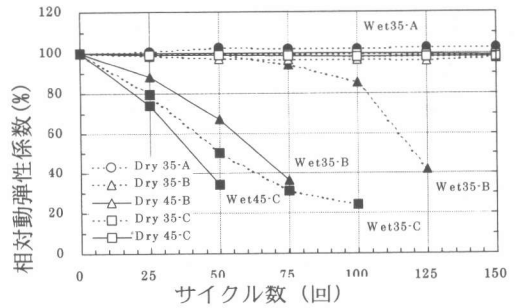


図-12 凍結融解試験結果

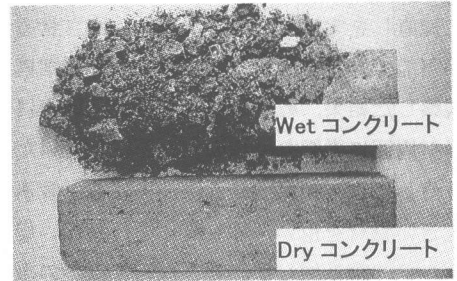


写真-1 凍結融解試験 150 サイクル後

5. まとめ

- ①Dry コンクリートは使用骨材の水中 15 分間吸水率を補正水量とすることによりWet コンクリートと同様な手順でスランプを決定可能。
- ②吸水率の大きい骨材を用いた Dry コンクリートは 5N/mm² 圧縮強度が低下するが繰り返しの凍結融解により強度は回復する。乾燥収縮は若干大。
- ③中性化速度はWet コンクリートと同程度。
- ④軽量コンクリートでは、Wet コンクリートに比べ Dry コンクリートは非常に高い耐凍結融解抵抗性を示す。
- ⑤Dry コンクリートを高所へポンプ圧送する場合、圧力下における吸水性状を十分考慮して使用骨材の選定を行う必要がある。

参考文献

- 1) 古賀一八ほか：ドライコンクリートの研究(その1, 2), 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.1175-1178, 1998.9
- 2) 古賀一八ほか：ドライコンクリートの研究(その3, 4), 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.919-922, 1999.9
- 3) 山本佳城ほか：ドライコンクリートの研究(その5), 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.517-518, 2000.9