

論文 構造体における流動化コンクリートの長期性状に関する 実験的研究

長谷川拓哉*1・嵩 英雄*2・友澤 史紀*3・池田 正志*4

要旨：1層1スパンの実大RC試験体に打ち込んだ、流動化コンクリート2種類と普通コンクリート4種類について、15年までの長期材齢におけるコア供試体の圧縮強度、中性化深さ、などの諸性質を試験した。材齢15年では圧縮強度、タイル付着強度ともに低下し、強度低下と中性化深さの増加の割合は、流動化コンクリートの方が比較的大きく、タイル付着強度は普通・流動化コンクリートともにほぼ同等であった。

キーワード：流動化コンクリート、圧縮強度、中性化深さ、タイル付着強度

1. はじめに

流動化コンクリートは、我が国では建築用軟練りコンクリートの品質改善を目的に1975年頃から使われ始め、現在に至っている。流動化コンクリートに関する報告は多いが、その長期性状の報告の例は少ない。

池田ら^[1]は、流動化コンクリート2種類と通常のコンクリート（以下、普通コンクリート）4種類の合計6種類のレディーミクストコンクリートを、実大試験体6体にそれぞれ打込み、型枠の側圧、表面の仕上がり状態等の施工性に関する品質、ならびに壁体コンクリートの乾燥収縮性状、コア供試体の圧縮強度等の硬化後の品質試験に関する試験を行い、実構造物における流動化コンクリートの施工性および構造性能等を明らかにした。

本報告は、茨城県つくば市で暴露試験を行っていた同試験体の、材齢15年までの壁体コンクリートの強度性状、中性化深さ、および仕上げタイルの付着強度等の試験結果^[1~6]より、流動化コンクリートの長期性状に関して、普通コンクリートと比較・検討したものである。

表1 骨材の品質

種類	産地	最大寸法 (mm)	絶乾 比重	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率
細骨材	鹿島産丘砂	5	2.60	1.51	1.71	65.8	2.73
粗骨材	葛生産砕石	20	2.70	0.62	1.58	59.1	6.65

表2 コンクリートの調合

コンクリートの種類	調合記号	目標スランプ (cm)		目標 空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単位容積質量 (kg/m ²)				流動化剤 添加量 (セメント×%)
		ベース	流動化				水	セメント	細骨材	粗骨材	
普通 コンクリート	C12	12	-	4	57	45.1	168	295	832	1046	-
	C15	15	-	4	57	44.7	171	300	819	1046	-
	C18	18	-	4	57	46.8	180	316	840	987	-
	C21	21	-	4	57	47.0	190	333	861	925	-
流動化 コンクリート	F8-21	8	21	4	57	45.7	163	286	850	1046	0.7
	F12-21	12	21	4	57	45.1	168	295	832	1046	0.6

*1 建設省建築研究所

*3 東京大学工学系大学院教授

*2 工学院大学工学部建築工学科教授

*4 榊竹中工務店技術研究所

2. 実験の概要

2. 1 試験体の概要

図-1に、実大試験体の形状・寸法、およびコア供試体採取位置を示す。試験体は、中規模のRC造建物を想定した1層1スパンのRC構造で、壁厚が180mmであり、片側の柱には壁厚200mmの袖壁を設けている。仕上げは、打放しおよび打込タイル（袖壁部分）である。

実大試験体に用いたコンクリートの骨材の品質を表1に、調合を表2にそれぞれ示す。使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は鹿島産丘砂と葛生産砕石、混和剤はAE減水剤標準形で、流動化剤には標準形のナフタレン系の市販品が使用されている。コンクリートの調合は、水セメント比57%で、目標空気量は4%、普通コンクリートのスランプは12、15、18、21cmであり、流動化コンクリートのスランプはベースが8cmと12cmで、流動化後はいずれも21cmであった。試験体へのコンクリート打込みはバケットを用いて5層に分けて行き、各層ごとにバイブレーターで締固めを行った。脱型後は、上屋を防水シートで設けて材齢1年まで養生を行い、以後は大気養生を行った。その後、1981年より茨城県つくば市に位置する建設省建築研究所で屋外暴露試験を開始した。

2. 2 長期材齢試験の概要

表3に暴露試験体の試験項目の一覧を示す。試験体は、図1に示す壁の、高さ2600mm、1400mm、200mm付近の上中下3個所の位置から、直径10cmのコア供試体を12本採取した。コア供試体は、フェノールフ

タレイン法で表面の中性化深さの測定後、20℃の水中に48時間浸漬後、圧縮強度と静弾性係数の試験を行った。また、タイルの付着強度は、図1に示す位置で、カッターで試験を行うタイルの四方を縁切りした後、建研式引張試験機を用いて試験を行った。材齢4.5年におけるコンクリート中の細孔量は、コア供試体から中性化部と未中性化部に分けて試料を採取し、水銀圧入法によって測定を行った。

また、長期測定結果と比較するために、中性化促進試験を行っている。実大暴露試験体と同一の調合の10×10×40cmの梁型試験体をCO₂濃度5%、温度30%、湿度60%の条件で9ヶ月間保存し、1、2、4、6、9ヶ月に、フェノールフタレイン法によって中性

表3 長期材齢試験の項目と試験材齢

試験名	材齢1年	材齢2年	材齢4.5年	材齢15年
コア圧縮強度	○		○	○
中性化深さ	○	○	○	○
タイル付着強度	○		○	○
気泡分布			○	

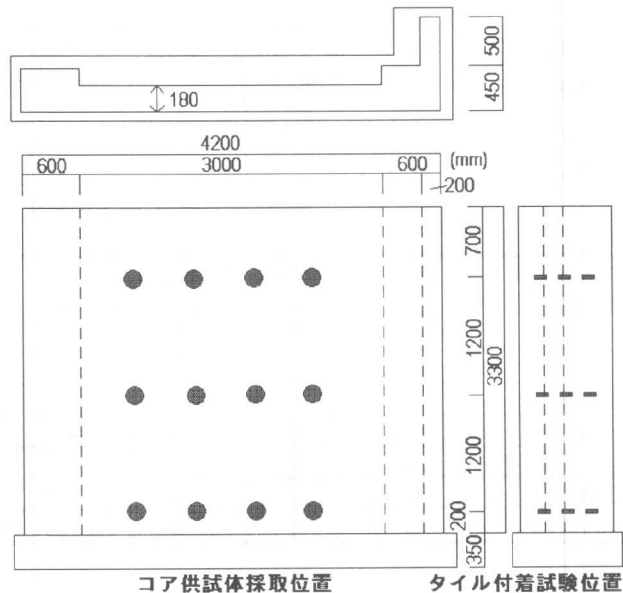


図1 実大試験体の形状・寸法および測定位置

化深さを測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 コア供試体による構造体コンクリートの圧縮強度

図2に各材齢のコア圧縮強度の高さ方向の分布を示す。一般に、材齢4.5年の測定時までには、強度が増進しているものの、材齢15年では低下する傾向が見られた。普通コンクリートでは、硬練りの方が強度低下が大きい傾向がみられた。流動化コンクリートは、普通コンクリートに比べ、比較的強度低下が大きい傾向がみられた。高さ方向で比較すると、一般に最上段の強度が低い傾向がみられた。これらは、次項で示す通り、細孔量の差が影響したものと考えられる。材齢4.5年では流動化コンクリートが普通コンクリートに比べて小さい傾向がみられたが、材齢15年では、両者の違いに明確な傾向は認められなかった。

3.2 中性化

図3に、中性化深さの高さ方向の分布を示す。高さ方向の比較においては、一般に上段の中性化が進んでいた。これは、3.5で示すように上方の細孔量が多く、その影響があったと考えられる。また、普通コンクリートでは、硬練りの方が中性化深さが大きくなる傾向がみられた。

材齢4.5年では、流動化コンクリートの中性化が他に比べ小さくなったものの、材齢15年では、流動化コンクリートは普通コンクリートに比べて、中性化深さが大きくなる傾向が認められた。これは、[1]で示された通り、この試験体の普通コンクリートに比べて流動化コンクリートは壁体表面の気泡面積が比較的大きいことから、気泡分布の影響があったと考えられる。

一般に中性化深さは(1)式に従うとされており、本実験でもそれにほぼ従う傾向がみられた。以下、この式に従うとして考える。

$$C = A\sqrt{t} \quad (1)$$

ここに、C：中性化深さ(mm) A：中性化速度(mm/√年、mm/√日) t：期間(年、日)

岸谷^[7]は、中性化速度に関して、(2)式を提案している。

$$y = 7.2 \cdot C^2 / R^2 (4.6x - 1.76)^2 \quad (x \leq 0.6 \text{ のとき}) \quad (2)$$

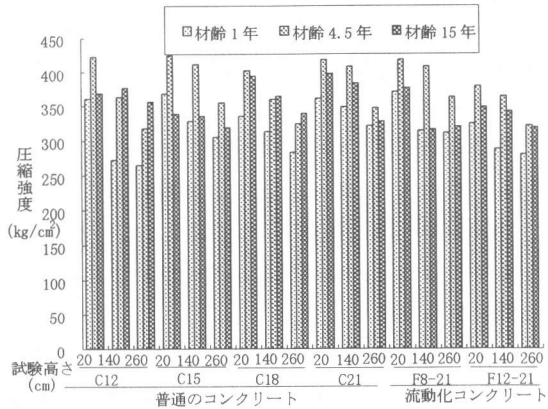


図2 材齢の圧縮強度の高さ方向の分布

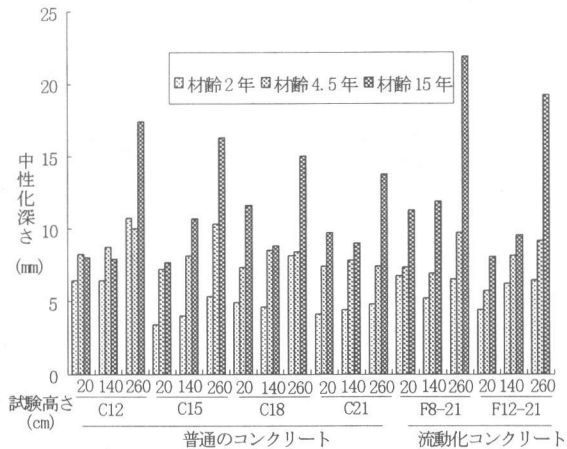


図3 中性化深さの高さ方向の分布

ここに、 y : 期間 (年) R : 中性化比率 x :
水セメント率 C : 中性化深さ (cm)

図4に(2)式による予測値 ($R=1.0$ とした)と、暴露試験の実測値全体の平均の関係を示す。予測値と実測値は近い結果となった。これから、この実験の範囲において、同式は、全体の傾向をよくあらわしていると考えられる。また、材齢4.5年までは、予測値は中性化深さを高めに評価しているが、材齢15年になると、ほぼ同じかやや低めに評価している傾向がみられた。

図5に、暴露試験体の中性化深さの進行の経時変化を示す。図中に示した中性化速度は、普通コンクリートでは、硬練りの方が大きい、高さでは、上段

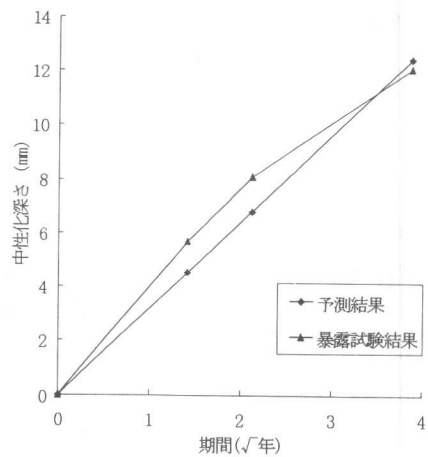


図4 中性化深さの予測値と実測値の関係

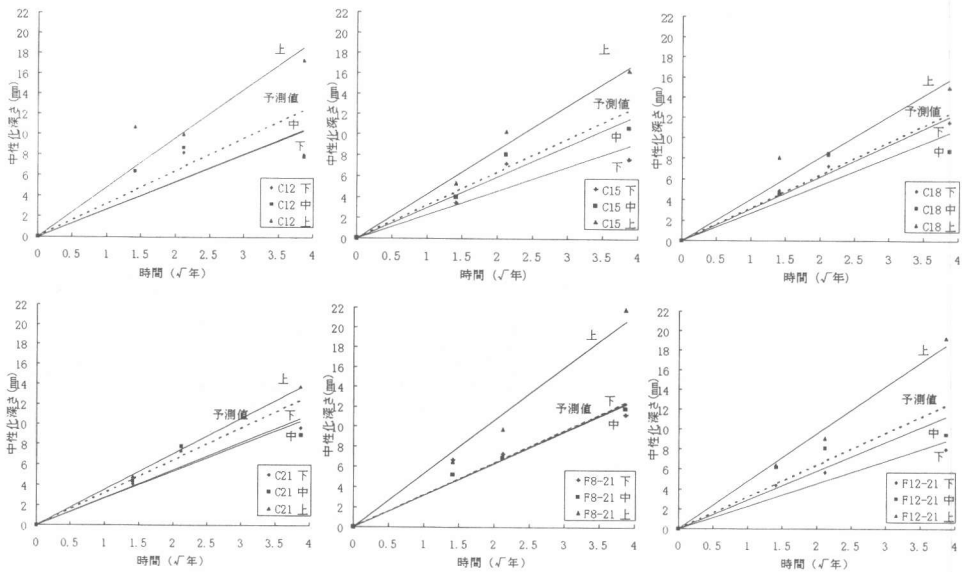


図5 暴露試験体の中性化深さの進行の経時変化

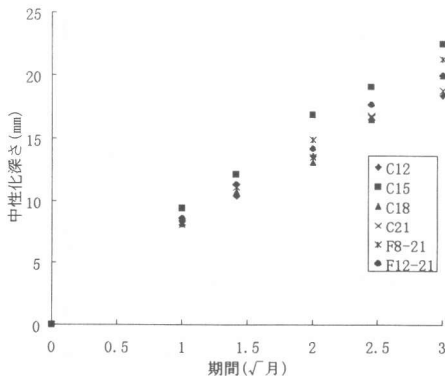


図6 中性化促進試験の結果

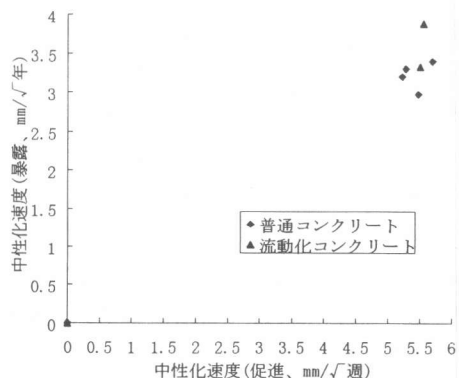


図7 促進試験と暴露試験の関係

の方が大きい、普通コンクリートより流動化コンクリートの方が大きい等の傾向を示している。

(2) 式による予測値と実測値を比較すると、一般に上段の中性化が予測値よりも大きい傾向がみられ、これは上段でのコンクリートの劣化が特に進んでいることを示している。

図6に、中性化促進試験の結果を示す。C15がもっとも大きな結果となった。これは、空気量が、他に比べ大きかったことが原因と考えられる。流動化コンクリートは、普通コンクリートと比較すると、若干大きい傾向もみられたが、明確な差は認められなかった。

図7に、中性化促進試験結果と暴露試験結果との関係を示す。どちらの試験でも流動化コンクリートの方がやや普通コンクリートよりも中性化深さが大きい傾向が見られた。中性化促進試験と暴露試験の中性化速度の比は10.3~13.1であり、これは促進試験のCO₂濃度5%と大気中のCO₂濃度0.03%の比の平方根12.9にほぼ等しい値となった。

3.3 コンクリート中の細孔量

図8にコンクリート中の細孔量の高さ方向の分布を示す。中性化部分では、コンクリート種類ごとにかかなりの差があった。流動化コンクリートと普通コンクリートの比較においては、流動化の方が比較的小さい傾向がうかがえるが、明確な傾向は認められなかった。細孔量の多い、C12、C18では上下の差が非常に大きかった。これは、細孔半径で2400~7500Åの気泡量が特に多いためと考えられる。中性化部分では全体として細孔量が減少し、分布も微細気泡が減少して粗大気泡が増加するという傾向がみられた。

図9に内部細孔量と圧縮強度、図10に内部細孔量と中性化深さの関係をそれぞれ示す。圧縮強度との関係においては、細孔量が多ければ、圧縮強度が低くなる傾向がみられた。回帰分析の結果、相関係数0.75であり、かなりよい相関が得られた。

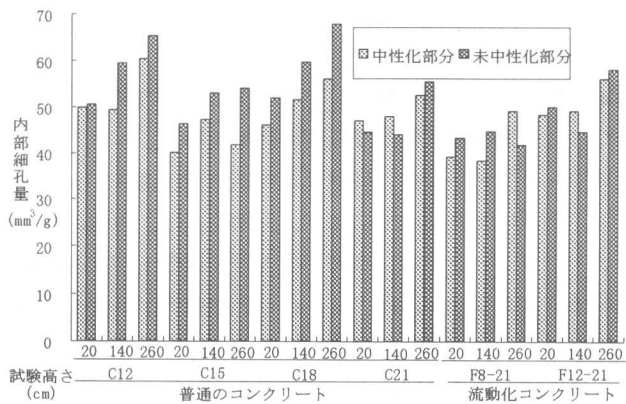


図8 コンクリート中の細孔量の高さ方向の分布 (材齢4.5年)

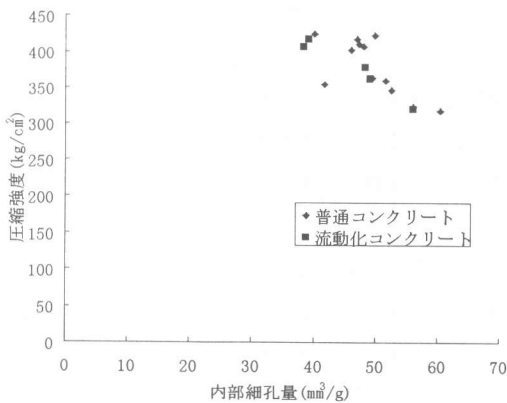


図9 細孔量と圧縮強度の関係

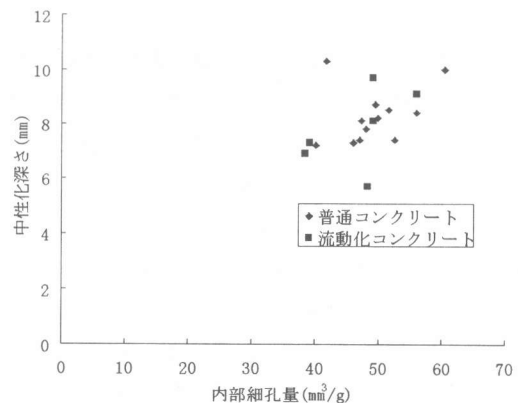


図10 細孔量と中性化深さの関係

中性化に関しては、細孔量が多くなると中性化深さが大きくなると想定されたが、今回の試験の範囲では、明確な傾向が認められなかった。

3. 4 タイル付着強度

図11に、タイルの付着強度の経年変化を示す。C12をのぞき、前回からの強度低下率が30%~40%低下していた。C12は、[1]で示されているように、壁体気泡面積が大きく、元々特に強度が低かったため、強度低下率が小さかったと考えられる。また、

普通コンクリートと流動化コンクリートの付着強度の差異はほとんど認められず、ほぼ一様に強度低下をしていた。これは、破壊面がコンクリート界面であることから、界面部の性状の変化に起因するものと考えられる。

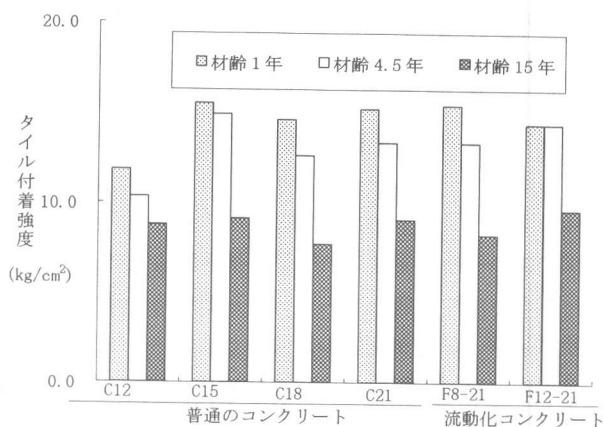


図11 各材齢のタイル付着強度

4. まとめ

材齢15年までの流動化コンクリート、および普通コンクリートの実大試験体の各種性状の試験を行い、長期的性状に関して以下の知見を得た。

- ・普通コンクリートでは、硬練りの方が中性化深さが大きい傾向が認められた。流動化コンクリートは、普通コンクリートに比べ、長期的には、中性化深さが大きい傾向が認められた。
- ・普通コンクリートでは、硬練りの方が強度低下が大きい傾向が認められた。流動化コンクリートは普通コンクリートに比べて、比較的強度低下が大きい傾向が認められた。
- ・流動化コンクリート、普通コンクリートともに、細孔量が多くなると圧縮強度が減少する傾向が認められ、両者の間により相関がみられた。
- ・流動化コンクリート、普通コンクリートともに30~40%程度、タイルの付着強度の低下が認められた。

なお次は、材齢20年の性状の報告を予定している。

参考文献

- [1] 池田正志、岸谷孝一、嵩英雄、飯塚正則、伊勢勝昭：流動化コンクリートの工学的性質に関する実験的研究、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1981年
- [2] 岸谷孝一、服部健一、嵩英雄、飯塚正則他：流動化コンクリートおよび普通コンクリートの工学的性質に関する実験的研究 その1、日本建築学会大会梗概集、1981年
- [3] 岸谷孝一、嵩英雄、服部健一、池田正志他： 同上 その2、1981年
- [4] 岸谷孝一、嵩英雄、池田正志、石橋敏他： 同上 その3、1981年
- [5] 友沢史紀、嵩英雄、岡田英三郎、池田正志他： 同上 その4、1985年
- [6] 長谷川拓哉、友沢史紀、嵩英雄、池田正志他： 同上 その5、1996年
- [7] 岸谷孝一：鉄筋コンクリートの耐久性、鹿島建設技術研究所出版部、1963年