

論文 高流動コンクリートの自己充てん性に及ぼす打設方法の影響

近松竜一*¹・三浦律彦*²・十河茂幸*³

要旨：自己充てん性のレベルがランク2に相当する壁モデル試験体を用いて、高流動コンクリートの流動性や打込み速度、自由落下高さ等の打設方法の相違が自己充てん性に及ぼす影響について検証した。その結果、打込み段階でコンクリートの流動性が極端に低下したり、著しい材料分離が生じた場合には十分な充填性が得られないこと、流動性に起因する自己充てん性の良否は流動勾配を指標として概ね評価でき、勾配が1/10以上の場合にはジャンカが発生する可能性が高いこと、打込み速度の低下や自由落下高さの増大が材料分離を誘発する要因となることを明らかにした。

キーワード：自己充てん性、流動勾配、材料分離、打込み速度、自由落下高さ

1. はじめに

構造体コンクリートに所要の性能を付与するには、まずコンクリートを所定の部位に確実に充てんする必要がある。高流動コンクリートは、この打込み段階で締固め作業を行わなくても、自重のみの作用で型枠の隅々まで均質に充てんする性能を有するコンクリートであり、施工の信頼性を高め、省力化に加え施工の合理化を推進する高性能コンクリート技術として広く実用に供されている¹⁾。

また、最近では、土木・建築学会を中心に、指針やマニュアル類の整備が進められており²⁾、特に平成10年7月には、各種基準の性能規定化への移行に先取りした性能照査型の高流動コンクリート施工指針が土木学会より発刊された³⁾。この指針では、高流動コンクリートの自己充てん性を中心とする性能を規定し、これを照査・検査する方法と製造、施工上の要件を記述した施工指針、ならびに高流動コンクリートを実現する具体的手順を記した配合設計、製造・施工マニュアルが規定されている。

高流動コンクリートの自己充てん性は、自重のみで型枠の隅々まで均質に充てんする性能であり、原則的には対象とする構造物の構造条件や施工条件を考慮して適切なレベルを設定することが望ましいと考えられる。しかしながら、現状では、自己充てん性のレベルとして、構造物の形状や寸法、配筋状態等の構造条件を考慮した3つのランク分けが設定され、施工条件に関しては、間げき通過性試験により自己充てん性の照査を行う場合の前提条件として、自由落下高さや水平流動距離、流動勾配等の標準的な施工条件が示されているにすぎない。

本論文は、高流動コンクリートを用いた合理的な打設システムの構築に関する研究の一環として、コンクリートの自己充填性に及ぼす施工要因、とりわけ打設方法の影響について検証を加えたものである。実験では、自己充てん性のレベルとしてランク2に相当する壁モデル試験体を用い、コンクリートの流動性や打込み速度、自由落下高さ等の打設方法による自己充てん性の相違について調べた。

*1 大林組技術研究所 土木第三研究室 研究員 工修（正会員）

*2 大林組技術研究所 土木第三研究室 主任研究員 工修（正会員）

*3 大林組技術研究所 土木第三研究室 室長 工博（正会員）

2. 実験概要

2.1 検討要因および水準

高流動コンクリート施工指針では、自己充てん性の照査に関する標準的な施工条件として、打込み時のコンクリートの最大自由落下高さが5m程度以下、最大水平流動距離が8~15m以下、流動勾配は1/10~1/30程度を想定している。

本実験では、表-1に示す範囲で各種要因の水準を変化させ、特に流動勾配や自由落下高さが自己充てん性に及ぼす影響について検証した。

2.2 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3 、ブレン値 $3360\text{cm}^2/\text{g}$ ）を使用した。細骨材は木更津産陸砂（表乾密度 2.63g/cm^3 、吸水率1.33%、粗粒率2.95）、粗骨材は青梅産碎石2005（表乾密度 2.66g/cm^3 、吸水率0.68%、粗粒率6.72）を用いた。化学混和剤はポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を使用した。

高流動コンクリートの配合条件ならびに試験配合をそれぞれ表-2、表-3に示す。高性能AE減水剤の添加量を調整し（ $5.3\sim 9.0\text{kg/m}^3$ ）、スランプフローの水準を変化させた。

2.3 実験方法

練混ぜは、二軸強制練りミキサ（容量 0.1m^3 ）を使用した。骨材を投入して30秒空練りした後、予め混和剤を溶解させた練混ぜ水を加え120秒練り混ぜた。1バッチ当りの練混ぜ量を 0.08m^3 とし数バッチ分を混合して充てん試験に用いた。

間げき通過性の充てん装置は、U形で流動障害として障害R2（D13*3本）の装置を使用した。

自己充てん性検証用試験体の概要を図-1に示す。試験体のモデルは、部材厚さが約800mm、異形鉄筋（D29, D32）が150~200mm間隔で格子状に配筋されたRC壁構造物を設定した。自己充てん性検証用試験体は、このモデルの壁厚方向および長さ方向をそれぞれに2分割したもので、水平断面では、実際のコンクリートの流動範囲を4分割（ $90^\circ/360^\circ$ ）することになる。そこで、本文中に表記した打込み速度は、モデル試験体に打ち込んだ速度を4倍した数値で示している。

表-1 検討要因および水準

検討要因	水準
スランプフロー	400 ~ 700 mm
打込み速度	5, 10, 20, 40 m^3/h
自由落下高さ	0.6, 3.0 m

表-2 高流動コンクリートの配合条件

粗骨材の最大寸法 (mm)	自己充てん性ランク	空気量 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m^3/m^3)
20	2	2.0	0.337

表-3 高流動コンクリートの試験配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				
		W	C	S	G	SP
33.0	47.0	175	530	786	790	調整

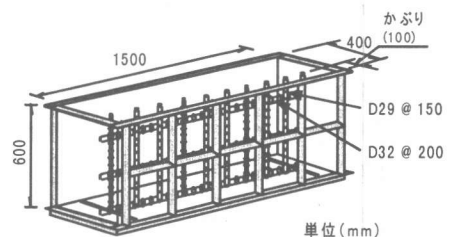


図-1 自己充てん性検証試験体の概要

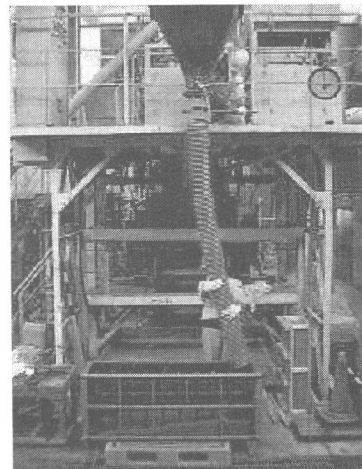


写真-1 自己充てん性検証試験の状況（打込み高さ3.0mの場合）

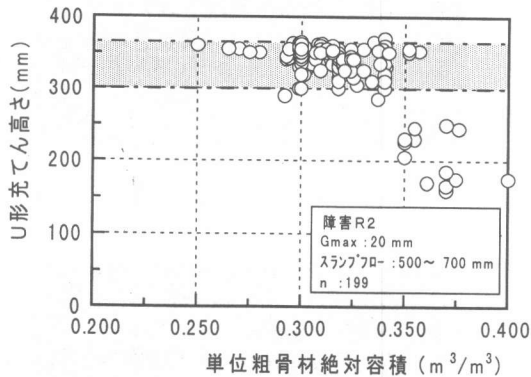


図-2 単位粗骨材絶対容積とU形充てん高さ⁴⁾

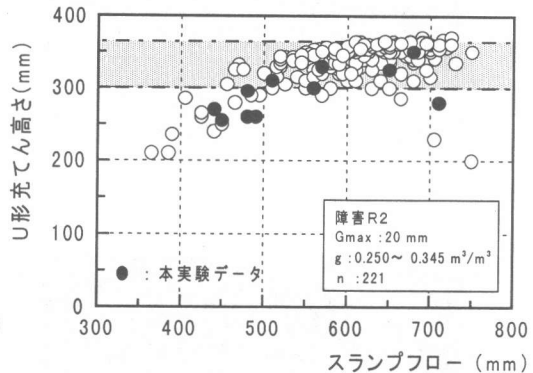


図-3 スランプフローとU形充てん高さ

試験体の構造条件は、鋼材最小あきが120mm、鋼材量が約220kg/m³程度で、土木学会の高流動コンクリート施工指針によれば、自己充てん性のレベルとしてはランク2に相当する。

3. 実験結果および考察

3.1 自己充てん性の評価指標に関する検討

土木学会の高流動コンクリート施工指針では、自己充てん性の照査に関して、標準的な施工条件の場合には、構造条件に応じて適切に流動障害を設定した充てん装置を用いた間げき通過性試験により照査を行ってよいとされている³⁾。

間げき通過性試験に使用する充てん装置は、U形またはボックス形で、中央の仕切り部には異形鉄筋を柵状に配した各種の流動障害が設けられている。この間げき通過性試験による充てん性の評価に関しては、これまでに以下に示すような知見が得られている。

(1) 障害条件R2の充てん装置を用いた場合、U形充てん高さは、単位粗骨材絶対容積およびスランプフローとの相関が高い。

(2) 粗骨材最大寸法が20mmの場合、単位粗骨材絶対容積が0.350m³/m³未満で、スランプフローが約500~700mmの範囲内であれば、U形充てん装置(障害条件R2)の充てん高さは概ね300mm以上の値が得られる(図-2, 図-3参照)⁴⁾。

(3) 同一の流動障害を用いた場合でも、充てん

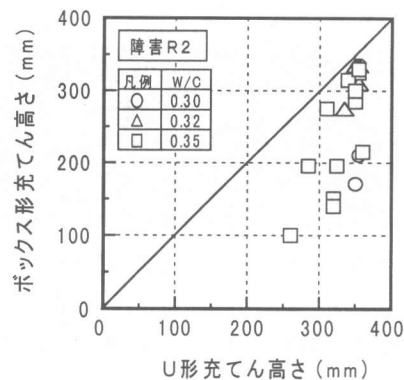


図-4 U形とボックス形充てん高さ⁵⁾

装置の形状が異なれば、間げき通過性の評価が相違する場合があります、一般にはU形よりもボックス形の充てん装置の方が間げき通過の難易度が高くなる傾向にある(図-4参照)⁵⁾。

今回の自己充てん性検証実験に用いた高流動コンクリートにおけるスランプフローとU形充てん高さの関係を図-3中に併記した。両者の間には、従来の知見と同様の傾向が認められる。この結果は、本実験に用いたスランプフローが約500~700mmの範囲の試料は、間げき通過性試験によれば自己充てん性を有すると判定されることを示すものであり、自己充てん性ランク2の高流動コンクリートの場合には、自己充てん性の照査に際して、スランプフローが簡易的な判定指標として活用できるものと考えられる。

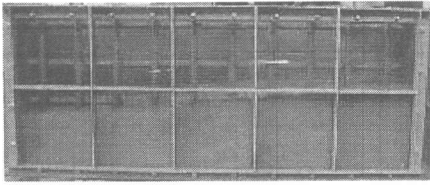


写真-2 試験体の充てん状況 (NO.1)

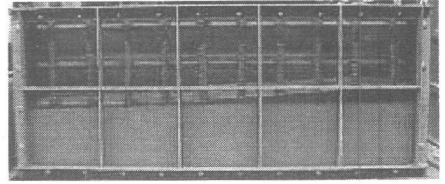


写真-5 試験体の充てん状況 (NO.13)

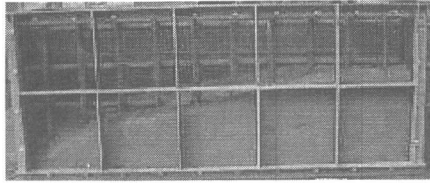


写真-3 試験体の充てん状況 (NO.2)

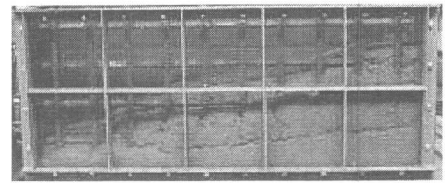


写真-6 試験体の充てん状況 (NO.20)

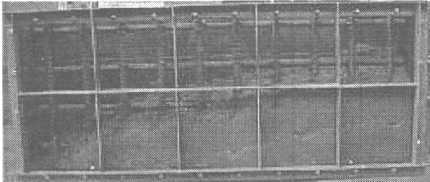


写真-4 試験体の充てん状況 (NO.5)

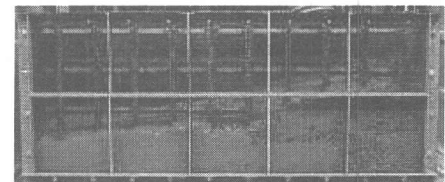


写真-7 試験体の充てん状況 (NO.22)

3.2 モデル試験体による自己充てん性の 検証結果

スランプフローの水準が異なる高流動コンクリートを用いて、自由落下高さや打込み速度を変化させ、壁モデル試験体に打ち込んだ場合の自己充てん性検証結果の一覧を表-4に示す。また、これらのケースのうち、代表的なコンクリート試験体の充てん状況について打設方法毎に写真-2～写真-7に示した。さらに、表-4に示した結果よりスランプフローと流動勾配の関係について整理した結果を図-5に、流動勾配が充てん性に及ぼす影響をスランプフローと打設速度の関係で整理し、図-6に示した。

コンクリートの流動勾配は、主にスランプフローに左右されるが、自由落下高さや打込み速度の影響も認められ、打込み速度が大きく高所から打ち込んだ方が流動勾配が小さくなった。逆に、打込み速度が $5\text{m}^3/\text{h}$ 程度と極端に小さい場合には勾配が増大する傾向が認められた。

表-4 自己充てん性の検証実験結果一覧

NO	自由落下高さ	打込み速度 (m^3/h)	スランプフロー (mm)	流動勾配	充てん状況	備考	
1	0.6m	40	570	1/15	○		
2			480	1/6	△		
3			10	560	1/10	○	
4				510	1/6	△	
5		5	440	1/4	×		
6			570	1/6	△		
7			510	1/4	×		
8			450	1/3	×		
9	3.0m	40	710	1/30	○		
10			630	1/15	○		
11			20	500	1/7	△	
12				420	1/5	×	
13		680		1/30	○		
14		550		1/20	○		
15		480		1/6	△		
16		430		1/5	×		
17		10		670	1/30	×	分離
18				600	1/15	○	
19			530	1/10	○		
20			400	1/3	×		
21			5	680	1/30	×	分離
22				650	1/15	×	分離
23				560	1/8	×	分離
24				490	1/5	×	分離

注)○充てん良好, △豆板発生, ×豆板多し

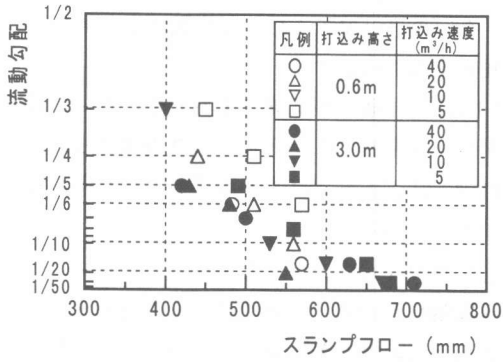


図-5 スランプフローと流動勾配

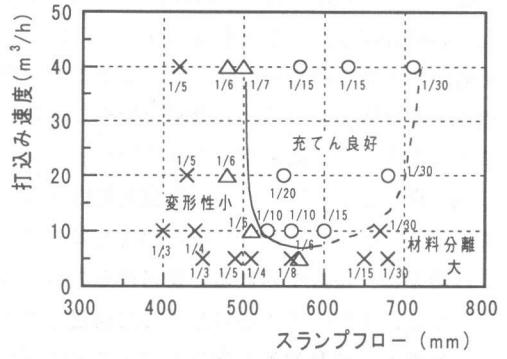


図-6 自己充てん性に及ぼすスランプフロー、打設速度の影響

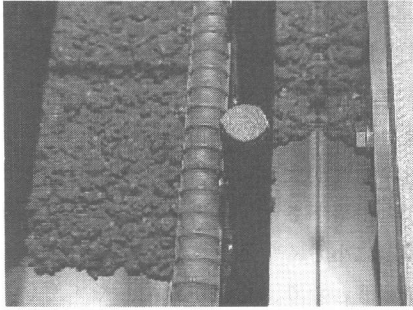


写真-8 かぶりと壁一般部の流動性の相違

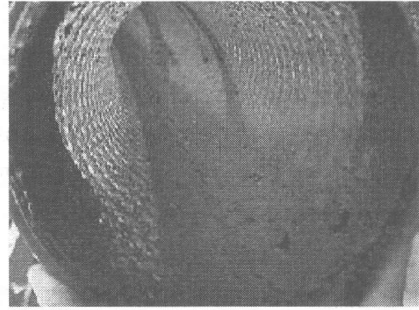


写真-11 ホース内側のモルタルの垂れ跡

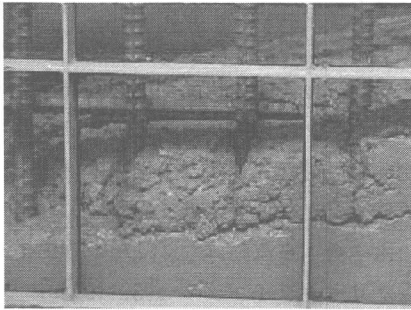


写真-9 鉄筋障害により生じた豆板

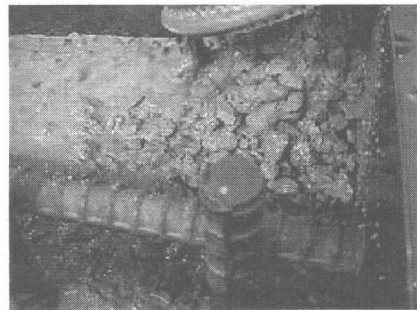


写真-12 モルタルと粗骨材の分離

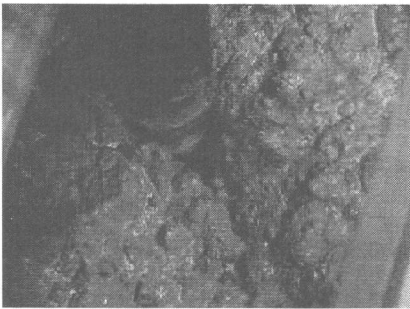


写真-10 鉄筋障害により生じた不陸

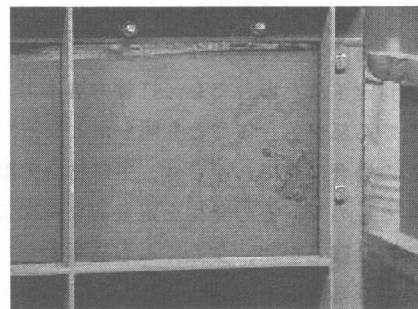


写真-13 材料分離によって生じた豆板

図-6によれば、特に流動勾配が1/10よりも大きい場合には、いずれも変形性の低下により豆板が発生する結果となり、良好な充てん性を確保するには、少なくとも流動勾配を1/10以下にする必要がある結果が示されている。

施工指針によれば、標準的な施工条件として流動勾配は約1/10~1/30程度を想定しており、この結果は、指針中の数値の妥当性を裏付けるとともに、変形性の大小に起因した自己充てん性の良否が、流動勾配を指標とすることで概ね評価できることを示すものと考えられる。

今回の実験で充てん不良が認められたのは、打込み時にコンクリートの流動性が極端に低下した場合と著しい材料分離が生じた場合に大別される。前者の場合には、鉄筋が流動障害となって壁一般部とかぶり部で流動性の相違が生じ(写真-8)、変形性の低下により鉄筋周辺や型枠表面で豆板が発生した(写真-9、写真-10)。また、後者の場合は、流動性が大きいコンクリートを高所より自由落下させて打ち込んだ際に、打込み速度が極端に小さいと粗骨材が自由落下するのに対してモルタルはホース管壁を伝って流下する挙動を示し(写真-11)、ホース筒先で両者が完全に分離し(写真-12)、豆板を生じることが確認された(写真-13)。

以上の実験結果を総合すると、自己充てん性の良否に関しては、間げき通過性試験による評価と実際のモデル試験体での充てん状況が概ね一致する結果が得られており、指針に規定されている間げき通過性試験による照査の有用性を確認することができたといえる。しかし、一方では、間げき通過性試験で自己充てん性を有すると判定された場合でも、打設方法によっては未充てん部が生じることも明らかとなった。

この場合の充てん不良は、主に材料分離に起因するもので、その発生を定量的な指標で評価するのは難しいが、少なくとも高所からコンクリートを落下させる場合には、許容される均質性が確保されるよう、打込み速度に配慮することが望ましいと考えられる。

4. まとめ

今回の自己充てん性検証実験により得られた知見を以下に示す。

(1)間げき通過性試験による照査によって自己充てん性を有すると判定された場合でも、その打設方法によっては十分な充てん性が得られない場合がある。

(2)豆板などの充てん不良が生じるのは、打込み段階において、コンクリートの流動性が極端に低下したり、著しい材料分離が生じた場合であり、打込み速度の低下や自由落下高さの増大は、材料分離を誘発する要因となる。

(3)コンクリートの変形性に起因した自己充てん性の良否は、流動勾配を指標として概ね評価できる。特に、流動勾配が1/10以上の場合には豆板が発生する可能性が高い。

(4)流動性が大きい高流動コンクリートを高所より自由落下させて打ち込む場合、打込み速度を極端に小さくすると、粗骨材とモルタルの分離が顕著となり、豆板が発生しやすくなる。

参考文献

- 1) 兄玉好正：特集／高流動コンクリートの現状と展望，技術開発状況と施工実績，生コンクリート，Vol.16, No.11, pp.117-134, 1998.11
- 2) 例えば，建築工事標準仕様書同解説，JASS5 鉄筋コンクリート工事，1997.3
- 3) 土木学会：高流動コンクリート施工指針，コンクリートライブラリー93，1998.7
- 4) 近松竜一ほか：高流動コンクリートの間隙通過性に及ぼす粗骨材量と流動特性の影響，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，V-254，pp.508-509, 1998.10
- 5) 近松竜一ほか：高流動コンクリートの間げき通過性試験方法に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21, No.1, pp.523-528, 1999.7