

報告 異なるスランプに関する実構造物における試験施工について

池村 剛宜*1・森岡 弘道*2・澤村 修司*3・田村 隆弘*4

要旨：i-Construction の取組みにおいて、コンクリート工の生産性向上に向けた検討が進められている。その1つに現場打ちコンクリートの発注スランプ 12cm への変更がある。山口県では、スランプ変更の施工性および品質への影響を確認するため、県内の産学官が参加する検討会および実構造物における試験施工を行った。試験施工では、荷卸し時、筒先採取のスランプ試験に加えて、材料分離抵抗性の評価を行い、完成後は表層目視評価法を活用して出来栄えや不具合の発生について比較した。試験施工において確認できた施工性への影響等について報告する。

キーワード：生産性向上, 試験施工, 協働, スランプ, 材料分離抵抗性, 表層目視評価法

1. はじめに

国土交通省は、平成 28 年を「生産性革命元年」と位置づけ、生産性革命プロジェクトである i-Construction の取組みを進め、コンクリート工においても生産性向上に向けた検討を進めている。

そして、「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用検討委員会」が、現場打ちコンクリートの生産性向上には各種条件に応じて流動性を高めたコンクリートを適切に活用していくことが生産性向上に大きな効果があるとして、平成 29 年 3 月に「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」¹⁾ (以下、「ガイドライン」と記す) を策定した。国においては、平成 29 年 7 月以降このガイドラインを基本とし、一般的な鉄筋コンクリート構造物のスランプは 12cm とすることを標準とする通知がなされた。

山口県では、平成 19 年に産学官協働による「ひび割れ抑制システム」を構築し、さらに平成 26 年に「品質確保システム」に拡張し、品質確保に取り組んでいる。²⁾この度のスランプ 12cm への変更は、施工性向上効果が期待される一方で、単位水量や単位セメント量の増加に伴うブリーディングの増加、ひび割れ発生リスクの上昇など、品質への影響が懸念される。そのため、品質確保の取組みにおいて重要な事項であると考え、施工性および品質への影響を、実構造物における試験施工により従来のスランプ 8cm と比較することで確認した。本稿ではその状況について報告する。

2. 産学官による意見交換

山口県は国と同様に鉄筋コンクリート構造物発注時のスランプは 8cm を基本として運用してきた。ガイドラインと国の通知を受けて、平成 29 年 8 月にこの運用の改

正について、産学官の関係者で意見交換する検討会を開催した。

産においては設計、施工、製造から計 8 名、学から 7 名、官から 7 名が参加し、全体で 22 名となった。

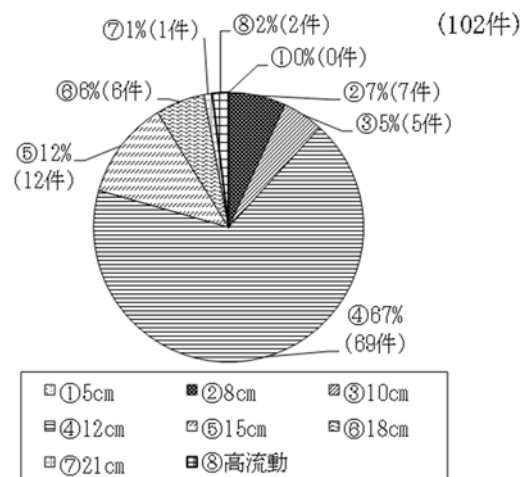


図-1 国における施工の際の目標スランプ¹⁾
(原設計の目標スランプ 8cm)

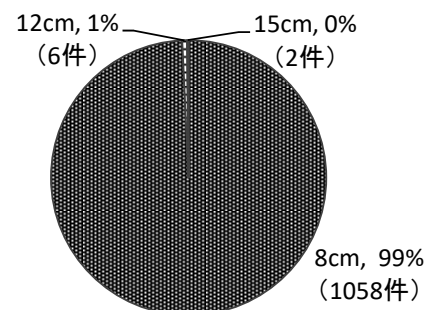


図-2 山口県における施工の際の目標スランプ
(原設計の目標スランプ 8cm)

*1 山口県土木建築部技術管理課 (正会員)

*2 山口県土木建築部技術管理課 課長 (正会員)

*3 (一財) 山口県建設技術センター 技術課長 (正会員)

*4 徳山工業高等専門学校 土木建築学科 教授 工博 (正会員)

国発注 102 件の、施工の際の目標スランブ実態調査結果を図-1 に示す。ガイドラインでは、原設計の目標スランブ 8cm のままの流動性では施工が困難と考えられる場合、これを 12cm に変更して施工している事例が多いことを受けて、目標スランブを 12cm とすると、ほとんどの現場において必要な施工性能を確保できることが期待されるとしている。

山口県では、平成 17 年以降、施工時にリフト毎に作成したコンクリート施工記録をデータベース³⁾に蓄積している。このデータベースから、平成 29 年 3 月時点で蓄積していたボックスカルバート(側壁、頂版)、擁壁、橋台、橋脚、橋梁上部工、合計 1066 件分の施工記録を抽出し、施工の際の目標スランブを集計した。その結果を図-2 に示す。この図から、山口県では、目標スランブを 12cm に変更したリフトはごく少数であり、国の調査結果と異なり、ほとんどが原設計の目標スランブで施工していることがわかった。

図-2 で示した 1066 件分のリフトデータのうち、目標スランブ 8cm で施工された 1058 件について、荷卸し時のスランブの分布を図-3 に示す。

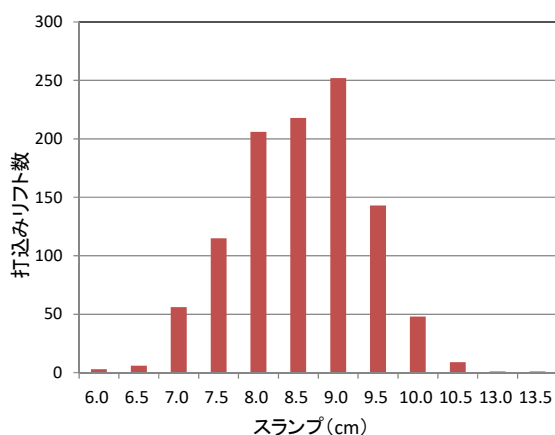


図-3 荷卸し時のスランブの分布
(施工時の目標スランブ 8cm)

この図より、分布が品質管理基準の規格値 8cm $\pm$ 2.5cm の範囲内であるが、目標スランブの 8.0cm よりも高めに偏っていることがわかる。このことから、山口県においては変更協議や承諾願といった対応をとらず、許容差内でスランブを高めて施工性を保とうとする傾向があったことが推察される。また、検討会に参加した施工者の意見には、

- ・スランブ 12cm に変更する協議が難しく、断念して 8cm で施工しているのが実態である。
- ・スランブ 12cm にすると流動性が高くなり作業が容易になる。
- ・スランブ 12cm への変更は念願である。

- ・国と県で運用が異なっては現場が混乱する。

といった国と同様の変更を求める意見が挙がった。この検討会では、スランブ 12cm への仕様変更の必要性が認識される一方で、構造物の耐久性に対する品質確保が最重要であり、スランブ 8cm と 12cm のコンクリートの性状の差について認識を深めることの必要性が明らかになった。

そこで、平成 29 年 9 月に開催した第 11 回技術講習会²⁾において、「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用検討委員会」委員長の徳島大学橋本親典教授に講演をいただき、ガイドライン制定の経緯および考え方について関係者が理解を深めた。聴講者からは、

- ・スランブ 12cm への変更の意図が理解できた
- ・施工性向上につながる

といった声があった。一方で、

- ・スランブ 8cm で品質が確保できればその方が良いのではないかな

といった意見もあった。

3. 実構造物における試験施工

3.1 目的

実構造物(ボックスカルバート)でスランブ 8cm と 12cm のコンクリートを用いて施工状況や仕上りの比較を行った。試験施工の目的は、以下のとおりである。

- ・スランブ 12cm の性状について正しく理解すること
- ・施工の基本事項の遵守をこれまで通り徹底すること
- ・施工性への影響の度合を確認すること
- ・品質への影響を確認すること

また、関係者一同が協働して品質確保に取り組むこれまでの手法に沿って、産学官の関係者の参加により実施した。

3.2 試験施工の概要

試験施工の対象とした構造物は、

- ・打込み量がブロック毎で同等であること
- ・完成後に構造物の状態確認が容易であること

などを条件として抽出し、3 ブロックのボックスカルバート(L32.8m $\times$ W6.9m $\times$ H3.0m)の側壁と頂版とした。

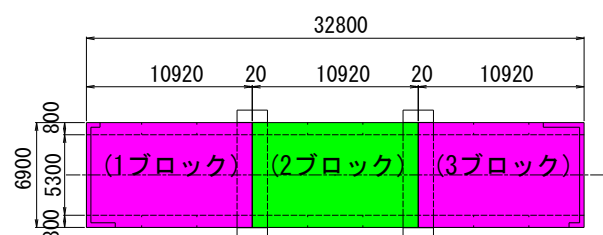


図-4 ボックスカルバート平面図

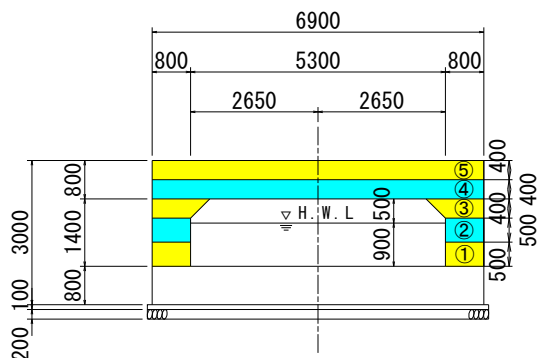


図-5 打込み計画図

ボックスカルバートのブロック割の平面図を図-4に、打込み計画図を図-5に示す。

対象としたボックスカルバートのうち、1,3ブロックをスランプ 8cm, 2ブロックをスランプ 12cm で施工することとした。各スランプにおけるコンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 各スランプにおけるコンクリートの配合

	スランプ 8cm	スランプ 12cm	ガイドライン 基準値
単位水量(kg/m ³)	161	167	175以下
単位セメント量(kg/m ³)	310	321	270以上
水セメント比(%)	52	52	55以下
細骨材率(%)	47.2	45.7	-

試験施工の計画について次の5項目を定め、施工者、製造者、発注者に事前に説明した。

1)打込み量は、各ブロック約 87m³、打ち重ねは図-5に示すように、1層の厚さが 400mm から 500mm の5層とする。

2)工程は、1,3ブロックの打込み・脱型後に、2ブロックの打込み・脱型を行う。

3)以下の4条件を同一として実施する。

- ・型枠材料の品質（合板）
- ・施工体制および人員
- ・施工機材および器具
- ・ポンプ圧送管距離（圧送管延長なし）

4)以下の三つの手法により確認を行う。

- ・施工状況把握チェックシート²⁾の各項目に準じて作業状況を動画で記録し、コンクリート性状や打込み時間等を分析する。
- ・施工後、現場監督者および作業員にヒアリング調査を行う。
- ・通常のコンクリート試験に加え、コンクリートポンプ車の筒先で採取するコンクリートのスランプ試験を行う。

5)ガイドラインでは分離抵抗性の確認方法（案）として、スランプ試験中の試料形状の観察およびブリーディング試験を提案しているが、スランプ試験後の試料に振動を加えて簡易に判定する「T-ポストスランプ試験」^{4),5)}を試行する。

また、産学官の関係者に対して、試験施工の見学および表層目視評価法⁶⁾を活用した出来栄え評価への参加を呼び掛けた。

試験施工参加者の内訳を表-2に示す。施工見学の状況を写真-1に、目視評価の状況を写真-2に示す。

表-2 試験施工参加者の内訳

実施日		11月1日	11月10日	12月6日
内 容		スランプ 8cm施工	スランプ 12cm施工	目視評価
産	設計者	7 名	6 名	4 名
	施工者	3 名	3 名	1 名
	製造者	3 名	2 名	3 名
学		3 名	5 名	1 名
官		3 名	4 名	3 名
合計		19 名	20 名	12 名



写真-1 施工見学の状況（11月10日）



写真-2 目視評価の状況（12月6日）

3.3 試験施工の結果

(1) スランプ試験

スランプ試験の結果を表-3 に示す。

表-3 スランプ試験の結果

試験日		目標値	試験結果		外気温
			荷卸し時	筒先採取	
11月1日	午前	8cm	10.0cm	9.5cm	15℃
	午後	8cm	8cm	未実施	20℃
11月10日	午前	12cm	12.5cm	11.5cm	15℃

11月1日の午前に実施された荷卸し時の試験では、スランプが目標の8cmに対して10cmとなった。想定よりも外気温が低かったことによる影響が考えられ、午後の試験においては配合の見直しにより8cmとなった。

また、荷卸し時と筒先採取でのスランプを比較すると、0.5cm～1.0cmのスランプ値の低下がみられた。

(2) 材料分離抵抗性の評価結果

T-ポストスランプ試験をそれぞれの施工日において、荷卸し時と筒先採取の材料で実施した。

荷卸し時に採取したコンクリートのT-ポストスランプ試験におけるスランプフロー47cm時点の状況を写真-3に示す。左が目標スランプ8cm（試験値10.0cm）のコンクリートで、右が目標スランプ12cm（試験値12.5cm）のコンクリートである。



写真-3 荷卸し時に採取したコンクリートのT-ポストスランプ試験におけるスランプフロー47cm時点の状況
（左：スランプ8cm，右：スランプ12cm）



写真-4 荷卸し時に採取したコンクリートのT-ポストスランプ試験におけるスランプフロー52cm時点の状況
（左：スランプ8cm，右：スランプ12cm）

いずれの状態も試料崩れや周辺の水みちは生じておらず、この時点でフェノールフタレイン溶液により着色された試料上面円形の輪郭の連続性が保たれていることがわかる。

スランプフローが52cmに達した時点の状況を写真-4に示す。同様に左が目標スランプ8cmのコンクリートで、右が目標スランプ12cmのコンクリートである。この時点では、いずれの試料も上面円形の輪郭の一部が消え不連続となっていることから、総括して「分離抵抗性が適正である」と判断した。

筒先採取の材料で実施した際の試験後の状況を写真-5に示す。こちらも同様に「分離抵抗性が適正である」と判断した。



写真-5 筒先採取コンクリートのT-ポストスランプ試験におけるスランプフロー52cm時点の状況
（左：スランプ8cm，右：スランプ12cm）

(3) 施工状況の比較

施工状況の現認や記録動画の確認により、スランプ8cm、12cmともにブリーディングは目立って生じることがなく、大きな差がなかった。

また、型枠の末端部からしみだすノロ漏れについて、スランプ12cmで施工した2ブロックでやや多いように見られた。これは、底版コンクリート表面の仕上がりなど、それぞれの条件が同一であるとは言えないため、この結果だけではスランプの違いによる影響と断定できない。各スランプの型枠末端部の様子を写真-6に示す。



写真-6 各スランプの型枠末端部の様子
（左：スランプ8cm，右：スランプ12cm）

各スランブでの作業人員の比較を表-4 に示す。打込みポンプの稼働停止および締固めバイブレーターの稼働停止等で各1名の作業員を配置しており、これらは補助として集計している。

表-4 作業人員の比較

スランブ		8cm		12cm	
施工日		11月1日		11月10日	
1層目	打込み	1人	8人	1人	6人
	締固め	3人		2人	
	補助	4人		3人	
2層目	打込み	1人	8人	1人	6人
	締固め	3人		2人	
	補助	4人		3人	
3層目	打込み	1人	8人	1人	6人
	締固め	3人		2人	
	補助	4人		3人	
4層目	打込み	1人	6人	1人	6人
	締固め	2人		2人	
	補助	3人		3人	
5層目	打込み	1人	8人	1人	8人
	締固め	2人		1人	
	補助	3人		3人	
	均し	2人		3人	

スランブ 8cm の場合に比較して、スランブ 12cm で施工した場合には、締固めの人員1名と補助員1名の計2名を1～3層の施工において減員する結果となった。各スランブの施工状況を写真-7 に示す。



凡例 ○打込み △締固め □補助

写真-7 各スランブの施工状況

(上: スランブ 8cm, 下: スランブ 12cm)

スランブ 12cm の施工についてスランブ 8cm と同様の人員配置・機材で施工を開始したが、1層目の半ばまで

の作業状況から、人員減やバイブレータ規格の変更が可能と判断し、次のように変更して以降の施工を行った。

- ・バイブレータを3台から2台に変更する。
- ・仕上げに使用するバイブレータの規格をφ50mmからφ40mmに変更し、締固め箇所を増やす。

このように、スランブを12cmとすることで、施工体制や使用機材に影響があることがわかった。

なお、打込み時間等への影響については、施工体制や使用機材が同一の条件下における検証を行っていく必要があると考えている。

(4) 作業員等へのヒアリング結果

参加者からは、スランブ 12cm の施工時に、

- ・今回の現場条件においては、スランブ 8cm でも充填締固めが十分にできていたのではないかと

といった意見があった。

一方、12cm で施工した作業員からは、

- ・流動性が高く、作業がしやすく負担が小さかった。
- ・余裕が出来たので休憩をとることが出来た。

などの意見があった。実感として、12cm のほうが作業が容易という回答が得られたことから、ここでも施工性への影響があったことがわかる。

(5) 目視評価の結果

表層目視評価法は、打ち込まれたコンクリートの脱型後に出来ばえを目視で評価することにより、使用材料や施工方法の妥当性を検証し、次回の打込みへの改善に結びつけることを目的とした評価手法である。

しかしながら、今回の試験施工では、スランブを8cmと12cmで使い分けたそれぞれのブロックの出来栄を数値化して比較することを目的として、表層目視評価法にある、1)沈みひび割れ、2)表面気泡、3)打ち重ね線、4)型枠継ぎ目のノロ漏れ、5)砂すじ、の5項目を最高4点、最低1点の4段階でグレーディングすることを試みた。したがって、2ブロック脱型の11日後に全ブロック同一日に評価を行うこととした。

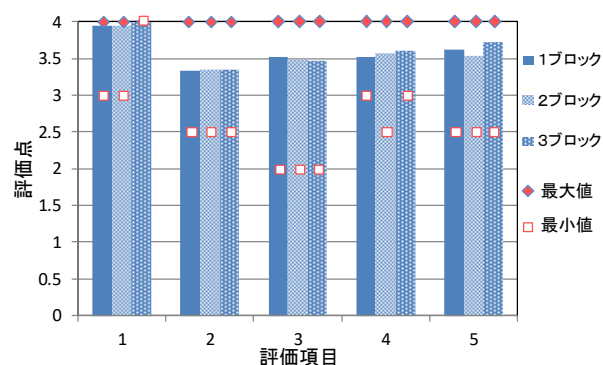


図-6 目視評価の集計結果

目視評価の集計結果を図-6 に示す。この図では、各評価項目の平均点を棒グラフで示している。また、評価者の判断基準の差異により評価のばらつきが生じることから、最大値、最小値を参考として示している。

試験施工を行った対象構造物の全景を写真-8 に示す。目視評価の結果、いずれのブロックにおいても、各項目で平均点が3点を上回っており、良好な施工が行われ品質が確保されたことがわかる。また、スランブ 8cm と 12cm の比較において大きな差は見られないこともわかる。写真-6 のように、スランブ 12cm の場合にノロ漏れがやや多い様子が見られたが、それに関連する 4) 型枠継ぎ目のノロ漏れにおいても、評価に大きな差はみられなかった。



写真-8 対象構造物の全景
(手前から1, 2, 3ブロックの順)

4. 試験施工結果の考察

今回の試験施工において確認されたことを以下にまとめる。

- ・今回の現場では、スランブを 12cm とすることで、作業人員が削減できた。
- ・ヒアリング調査結果から、作業がしやすく感じるといった影響があることが確認できた。
- ・T-ポストスランブ試験の結果から、いずれの材料も「分離抵抗性が適正である」ことが確認され、スランブを 12cm とすることによる分離抵抗性への大きな影響は確認できなかった。
- ・目視評価においてはスランブ 8cm とスランブ 12cm に明確な差はなく、これまでと同様に施工の基本事項を遵守することで、品質は確保されと考えられる。

これらの影響が確認された一方で、

- ・スランブ 12cm での打込み作業開始からしばらくの

間は、作業員が不慣れな様子をみせた。

- ・スランブ 8cm においても適切な施工によって品質が確保された。

などを考慮すると、実際の現場では、施工者が現場に見合ったスランブを選定することを可能にすることが望ましいと考えられる。

ただし、今回の試験施工は、比較的涼しく外気温によるコンクリートへの影響が小さい時期に行われ、配合も2ケースのみの比較であったことから、例えば夏場の施工や他の各種配合でも調査や検討を行い、スランブ 12cm とすることによる影響について検証していく必要があると考えている。また、対象とした構造物については、材齢経過に伴う品質への影響等についても評価する必要があると考えている。

5. おわりに

山口県で取り組んでいるコンクリート構造物の品質確保は、関係する各プレイヤーの協働によって良いものを造る取り組みであり、今回の試験施工においても、実施にあたり現場を提供した施工者をはじめ、材料を供給した製造者の協力を得て各試験等を実施することができ、設計者には試験施工の準備や結果分析の協力を得ている。今回のスランブ変更に関する検討会や試験施工を通じて、協働意識の醸成に寄与できることが改めて確認できた。

今後のコンクリート構造物品質確保の取り組みにおいても、良い物を造るという点において関係者の協働意識を大切にしていきたい。

参考文献

- 1) 流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン、流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会、平成 29 年 3 月
- 2) 山口県土木建築部技術管理課 HP : <http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18000/hibiware/hibiwareyokusei.html> (閲覧日 : 2017 年 11 月)
- 3) (一財) 山口県建設技術センター HP : <http://www.yama-ctc.or.jp/data/index.html> (閲覧日 : 2017 年 11 月)
- 4) 梁 俊, 丸屋 剛, 坂本 淳 : コンクリートの分離抵抗性に関する簡易な定量的評価方法の開発, 大成建設技術センター報第 45 号, 2012
- 5) 大成建設株式会社 HP : http://www.taisei.co.jp/about_us/release/2015/1424245598062.html (閲覧日 : 2017 年 11 月)
- 6) 細田 暁, 坂田 昇, 渡邊 賢三, 佐藤 和徳 : 目視評価法を活用したコンクリート構造物の品質確保の取り組み, コンクリート工学, 2016.8