

論文 高スランブコンクリートのプラスティシティーの評価方法に関する研究

坂本 淳^{*1}・大友 健^{*2}・府川 徹^{*3}・石原 明日子^{*4}

要旨：スランブ 18cm 程度からスランブフロー500mm 程度の高性能A E減水剤を用いた高スランブ域コンクリートについて、スランブ試験時のコンクリートの状態を指標としたプラスティシティーの目視評価を適用して、最適な配合条件を検討した。また、スランブ形状をモデル化し、良好なプラスティシティーを呈する場合の安息角を試算した。その結果、良好なプラスティシティーを得るにはペーストの量だけでなく、単位水量、水セメント比などを適切に設定してペーストの品質を適度なものにすることが重要であること、プラスティシティーの評価には安息角による評価が有効であることがわかった。

キーワード：スランブ，プラスティシティー，ワーカビリティ，安息角

1. はじめに

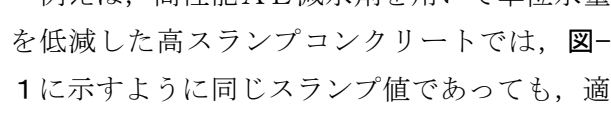
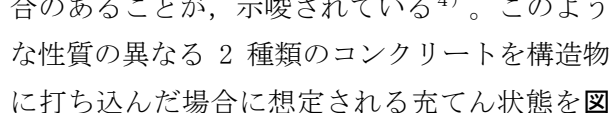
コンクリートの設計体系が性能照査型へ移行する中で、コンクリートの施工性能を適切に評価することがますます重要になっている。

著者らの一部はこれまでに、橋梁上部工用の高性能A E減水剤を用いた高強度コンクリートを対象として、ワーカビリティの保持・打込み・締固め性能やポンパビリティなどの施工性能を評価した^{1)・2)}。さらに、スランブ 18cm からスランブフロー500mm程度のコンシステンシーを有するいわゆる高スランブ域コンクリートの適切な配合を選定する上で、スランブ値とその変動幅とともに、材料分離抵抗性とプラスティシティーについても考慮したことを報告した²⁾。

本研究は、この配合選定の過程をさらに分析することで、単位ペースト容積、水セメント比、単位水量などの配合要因と目視で判断された材料分離の状態、あるいはプラスティシティーといったコンクリートの状態との関係に工学的な根拠を見いだそうとしたものである。

2. フレッシュコンクリートの施工性能評価におけるプラスティシティーの意義

フレッシュコンクリートのワーカビリティはコンシステンシーと材料分離抵抗性の程度によって定まるとされており³⁾、コンシステンシーの評価指標としてはスランブ、あるいはスランブフローが用いられている。しかしながら、これらの指標のみでコンクリートのワーカビリティを定量的に評価できないことは公知である³⁾。材料分離抵抗性がスランブ値、あるいはスランブフロー値に反映されていないことがその原因の一つである。

例えば、高性能A E減水剤を用いて単位水量を低減した高スランブコンクリートでは、-1に示すように同じスランブ値であっても、適度な材料分離抵抗性により一体となってスランピングする場合と、崩れたスランブを呈する場合のあることが、示唆されている⁴⁾。このような性質の異なる2種類のコンクリートを構造物に打ち込んだ場合に想定される充てん状態を-2に示す。スランブ試験において崩れたスラン

*1 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 主任研究員 工修 (正会員)

*2 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 主任研究員 博(工学) (正会員)

*3 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 主任研究員 工修

*4 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 研究員

プを呈するコンクリートでは、打ち込んだコンクリートが自重によって崩れながら横移動していくため、たとえ締固めが不十分であっても、見かけ上では締固め作用によって充てんされたかのようになり、締固め不足による施工欠陥を誘発する可能性がある。

コンクリート標準示方書[施工編]⁵⁾では「プラスチック」という用語の定義として、「・・・型を取り去るとゆっくり形を変えるが、くずれたり、材料が分離したりすることのないような、フレッシュコンクリートの性質」と定義されている。このような観点からいえば、スランプ試験における前記のような材料分離は、プラスチックが良くない状態の一つの表れ方とも解釈できる。また、スランプ試験の原形はAbramsにより提唱されたが、本試験はプラスチックでワーカブルかどうかを判定するための評価試験として提唱されたようである³⁾。

したがって、スランプ試験においてフレッシュコンクリートのプラスチックを評価することは、コンクリートの施工性能を判断する上で重要な指標であると考えられる。

3. 配合要因とプラスチックとの関係に関する考察

3.1 検討配合およびプラスチック評価方法

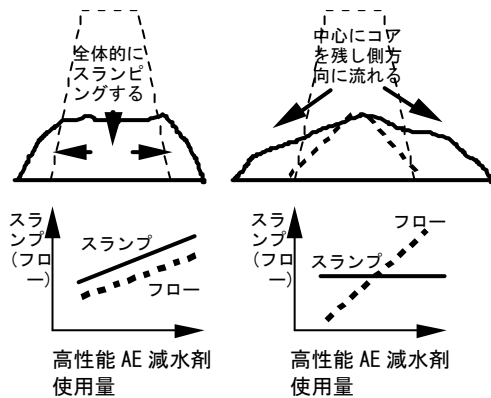


図-1 高性能AE減水剤を用いたコンクリートのスランピング挙動⁴⁾

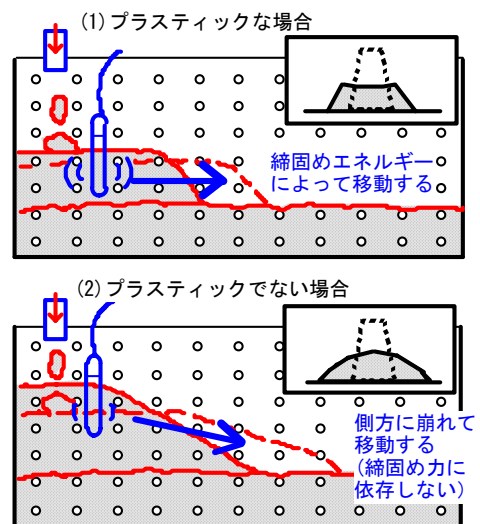


図-2 プラスチックが異なるコンクリートの打込み時の挙動の模式図

表-1 検討対象配合および使用材料

配合	Gmax (mm)	目標スランプ (cm)		目標スランプ フロー (mm)		空気量の 範囲 (%)	細骨材率 (%)
		21	23	330	430		
配合1	25	21	23	330	430	4.5±1.5	45~48
配合2		23	-	430	500		50
配合3		-	-	500	-		50
配合	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					単位ペースト量 (lit./m ³)
		W	C	S	G	SP	
配合1	39.0	156~160	390~410	796~840	915~984	C×0.9 ~1.7wt%	280~291
配合2	35.6 ~39.0	160~165	410~450	850~870	860~880	C×1.5 ~2.2wt%	291~302
配合3	35.4 ~37.0	170~175	460~480	822~836	831~846	C×2.2 ~2.4wt%	316~328
材料		記号		品質			
セメント		C		早強 [®] ポルトランドセメント, 密度3.14g/cm ³			
細骨材		S		星山産山砂, 密度2.62g/cm ³			
粗骨材		G		星山産山砂利, 密度2.65g/cm ³			
高性能AE減水剤		SP		ホ [®] リカル [®] ソ [®] 酸エ [®] テルと配向ホ [®] リマ [®] の複合体			

本研究では、一部既報^{1), 2)}で報告したスランプ18cmからスランプフロー500mm程度のコンシステンシーを有する高スランプ域コンクリートの配合検討過程を分析した。検討の対象とした配合を表-1に示す。本配合検討は単位ペースト容積、単位水量などを変動要因として、前記の範囲のコンシステンシーを目標として適度なプラスティシティーとなる配合条件をスランプ試験(JIS A 1101)により検討したものである。

スランプ試験におけるプラスティシティーの評価は目視により行った。すなわち、試料全体が一体となってスランピングする場合を「良好」なプラスティシティーを有する状態と評価した。これに対し、スランピング後の試料中程に骨材が山状に残る状態を「分離状態」、スランピング中に形崩れする状態を「崩れる」と評価し、どちらもプラスティシティーが良好でない状態と評価した。さらに、スランピングの状態はほぼ「良好」な状態に近いが、スランピング後の試料中程に骨材が若干残る場合を「分離気味」と評価した。

3.2 考察

図-3は、単位ペースト容積を検討要因としてスランプ試験時のプラスティシティー評価結果を全試験ケースについて示したものである。全体的な傾向としては、単位ペースト容積を増加するとプラスティシティーは良好になる傾向がみられるが、単位ペースト容積280~300lit./m³程度の範囲では同等の単位ペースト容積において様々なプラスティシティーを呈する領域がみられ、一概に単位ペースト容積の設定のみではプラスティシティーの良し悪しは定まらないものと考えられる。

そこで、特に前記のような傾向がみられた目標スランプフロー430mmの場合について以下検討する。図-4は、単位ペースト容積とスランプフローの関係を示したものである。単位水量が160kg/m³の場合には単位ペースト容積が300lit./m³以上あってもプラスティシティーは良好でないが、単位水量を増加させると単位ペー

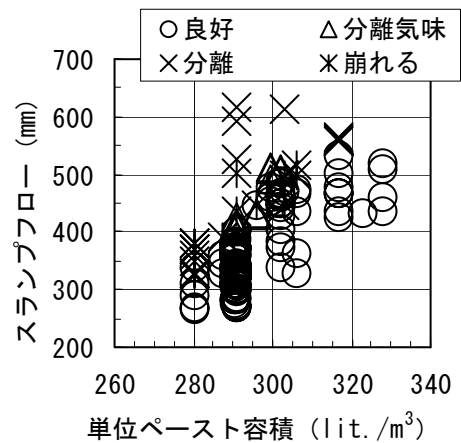


図-3 プラスティシティー評価結果
(検討要因：単位ペースト容積)

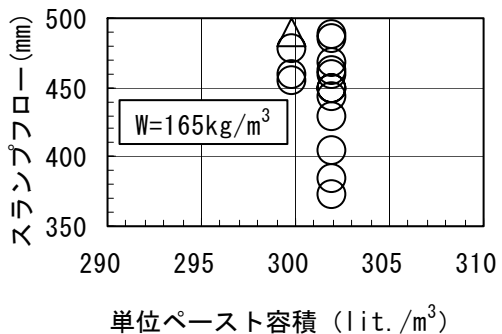
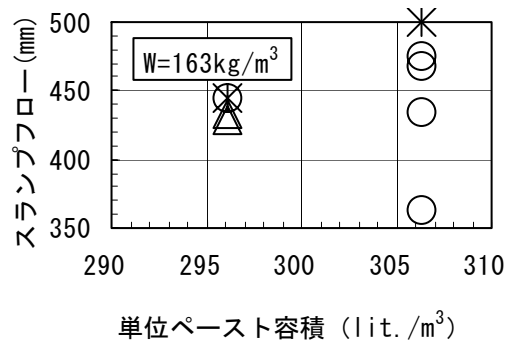
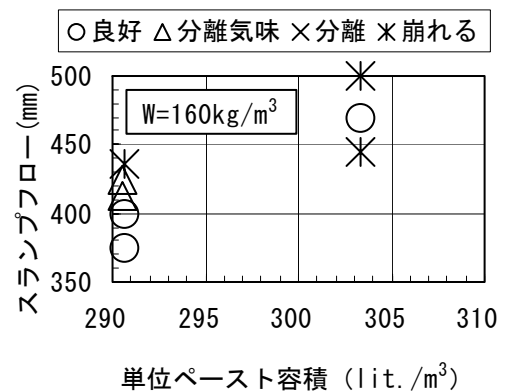


図-4 プラスティシティー評価結果
(目標スランプフロー=430mm)

スト容積 300lit./m³程度で良好なプラスティシティーを有するように性状を改善できることがわ

かる。したがって、プラスティシティーの良否は単位ペースト容積だけではなく、ペースト中に占める水量の割合に大きく影響を受けるものと考えられる。

さらに、**図-5**は水セメント比を検討要因としたプラスティシティー評価結果を示すものであるが、水セメント比が38.4%の場合に良好なプラスティシティーが得られている。水セメント比がこれより小さい場合にはスランプ試験時に崩れ易い性状となり、逆に大きい場合には材料分離し易い傾向であることがわかる。このことから、プラスティシティーの良し悪しは水セメント比の変化に伴うペーストの塑性粘度の変化にも大きな影響を受けるものと考えられる。

次に、高性能AE減水剤添加率を検討要因としてプラスティシティー評価結果をまとめたものを**図-6**に示す。高性能AE減水剤添加率はC×1.9～2.1%の範囲で良好なプラスティシティーが得られており、最適な範囲のあることが分る。一般に、高性能AE減水剤添加率の増減に伴いペーストの塑性粘度や降伏値は変化するものと考えられる⁴⁾。したがって、本試験の場合は前記の最適添加率の範囲が、コンクリートが良好なプラスティシティーとなるペーストの品質を得られる範囲であったものと考えられる。

以上示したように、単にペースト量を多くするだけでは良好なプラスティシティーは得られず、単位水量、水セメント（粉体）比、高性能AE減水剤添加率などの設定に伴い変化するペースト中の水と粉体の比率やペーストの塑性粘度などに留意して、適切な配合設定とすることがコンクリートのプラスティシティーを良くする上では重要であるものと考えられる。

4. 高スランプ域コンクリートのスランプ試験における安息角の検討

4.1 安息角の試算方法

前章では水セメント比などの配合条件とコンクリートのプラスティシティーとの関係について検討したが、ここではスランプ値とスランプ

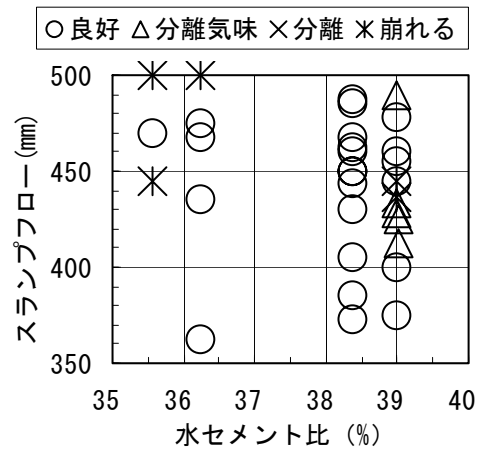


図-5 プラスティシティー評価結果
(検討要因：水セメント比)

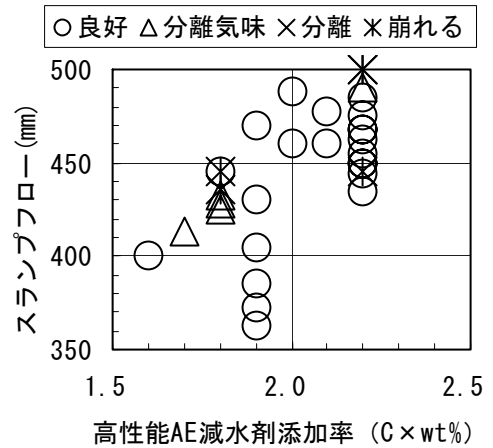


図-6 プラスティシティー評価結果
(検討要因：高性能 AE 減水剤添加率)

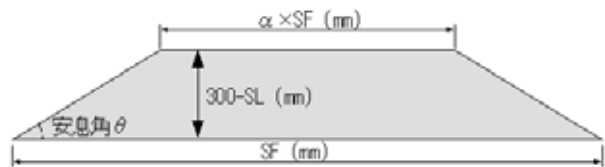


図-7 スランプ試験後の試料模擬図

フロー値から求まる安息角を試算し、配合条件と安息角との関係から最適な配合条件を分析することを試みる。

ここで、本研究における安息角とは以下のように定義する。すなわち、スランプ試験終了後の試料静止時における状態を**図-7**に示すような形態で模擬し、試料下部と側部がなす角度 θ を安息角とした。安息角 θ は、次式より求めることとした。

$$\theta = \tan^{-1} \{2(300-SL)/SF/(1-\alpha)\} \quad (1)$$

ここに、 θ : 安息角 (°)

SL : スランプ (mm)

SF : スランプフロー (mm)

α : SF に対するスランプ試験終了後の試料上部の直径の比率

なお、プラスティシティー評価結果が「良好」な場合は均等に試料がスランピングするため、**図-7**に示す形態で試料を模擬しても支障ないものと思われる。「崩れる」と評価される場合にはスランピング後の試料の形態は均等ではないものの、これを平均的な形態に置換したものとして、同図のような形態で模擬することとした。

4.2 安息角の試算結果および考察

図-8は全試験ケースについて測定されたスランプとスランプフローの関係を示したものである。同等のスランプであっても、プラスティシティー評価結果が「崩れる」と評価された場合のスランプフローは「良好」と評価された場合より大きい傾向がみられていることから、式(1)で定義した安息角 θ は「崩れる」と評価された場合の方が小さくなるものと推察された。

次に、式(1)に示すスランプフローに対するスランプ試験終了後の試料上部の直径の比率 α をパラメータにして、**図-8**に示すスランプおよびスランプフローの実測値から試算した安息角 θ と実測スランプフローとの関係を**図-9**に示す。同図には、 α およびスランプ値をパラメータとし、式(1)より求まる θ とスランプフローとの関係も併せて示したが、この場合のスランプフロー値については、**図-7**のような形状で模擬したコンクリート試料の容積は常に一定(約5,500cm³)と仮定して、 α 、スランプの値から求めた。

図-9はプラスティシティーが「良好」と評価された場合についての試算結果であるが、 α が0.55程度の場合に測定結果と試算結果に比較的良好な相関性がみられた。同様にして「崩れる」

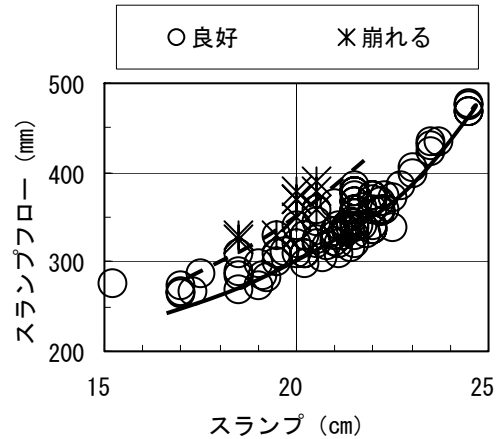


図-8 スランプ～スランプフローの関係

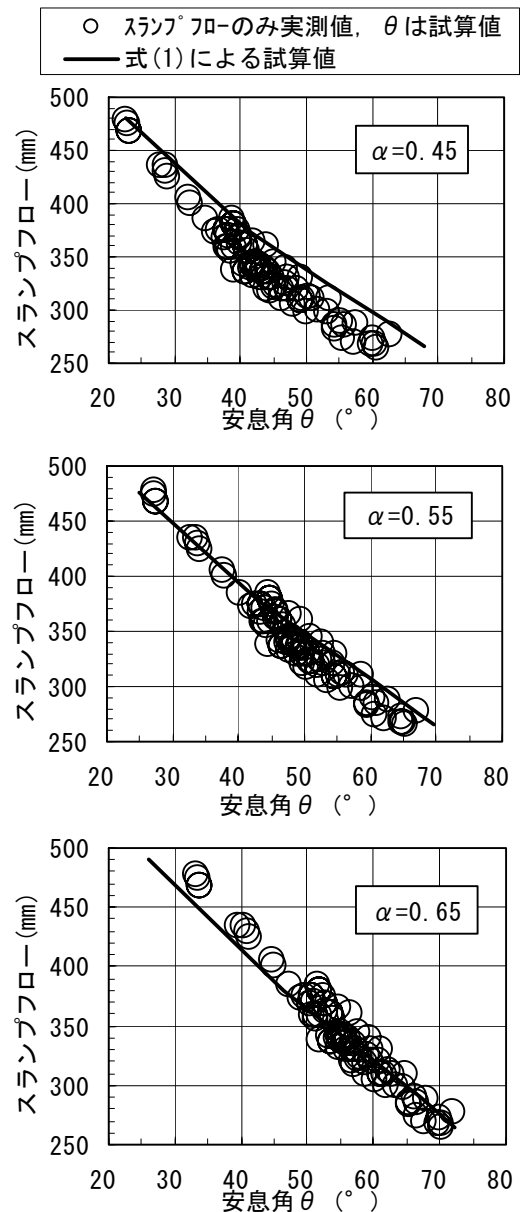


図-9 安息角～スランプフローの関係における α のパラメータ解析結果 (プラスティシティーが良好な場合)

と評価された場合についても安息角 θ とスランプフローとの関係から、試料上部と下部の直径比 α を求めた結果、 α は 0.45 程度と評価された。

以上の試算結果より求められた安息角とスランプフローの試算結果と式(1)より、スランプと安息角の関係を求めた結果を図-10 に示す。プラスティシティーが「崩れる」と評価される場合は、「良好」な場合に対して安息角はスランプ値に関わらずほぼ一様に 10° 程度小さい結果となっており、本指標により目視評価によるプラスティシティーの差異を表現できているものと考えられる。

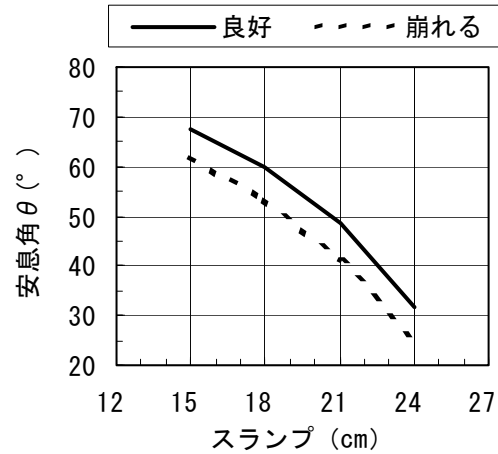


図-10 スランプ～安息角の関係解析結果

5. まとめ

本研究から得られた知見を以下に示す。

- (1) 高スランプ域のコンクリートにおいては、ペースト量のみ増やしても良好なプラスティシティーは得られず、単位水量、水セメント（粉体）比、高性能 AE 減水剤添加率などを適切に設定し、ペースト中の水と粉体の比率やペーストの塑性粘度などを最適なものにする必要がある。
- (2) プラスティシティーの性状は、本研究で検討した安息角により評価できる可能性がある。

なお、本研究で検討した安息角は、硬練りコンクリートのスランプ挙動を解析する際に適用されるクーロンモデルにおける内部摩擦角と概念的には同様なものと考えられ、プラスティシティーの解析的な評価にこのようなモデル手法が適用できる可能性があるものと考えられる。この場合、粘着力を別途評価することが必要であるが、この簡易的な評価手法としては各種漏斗試験の適用が考えられる⁴⁾。今後は、プラスティシティーを観点とした配合の選定における、このような解析的な手法の適用性を検討していく予定である。

謝辞

コンクリートのプラスティシティーについて

考える契機を得た土木学会 321 委員会（委員長：九州工業大 山崎教授，幹事：福岡大学 添田教授）の皆様，および実工事現場でコンクリートの施工性評価の機会を頂いた日本道路公団静岡建設局富士工事事務所の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 畑明仁ら：スランプ 21cm の高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートの施工性能，コンクリート工学年次論文集，Vol. 23，No. 2，pp. 1189-1194，2001. 7
- 2) 大友健ら：スランプ 21cm 以上のコンシステンシーを有する高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートのポンプ圧送性能，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 24，No. 1，pp. 1005-1010，2002. 7
- 3) 土木学会：コンクリート技術シリーズ No. 54 フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する現状と課題（II），pp. 1-18，2003. 7
- 4) 土木学会：コンクリート技術シリーズ No. 47 コンクリート用化学混和剤の性能評価，pp. I-77 ～ I-78，I-95 ～ I-96，II-39 ～ II-45，2002. 12
- 5) 土木学会：平成 8 年制定 コンクリート標準示方書 [施工編]，p. 7，1996. 3