

PC グラウトの漏斗による流動性評価方法

辻 幸和*

わが国の PC グラウトの漏斗による流動性評価方法を、2012 年に制定された ISO 14824 (PC 緊張材のグラウト) への国際統合化に適切に対応するために、土木学会とプレストレストコンクリート工学会の規準を中心に、その歴史を概説し、ISO 規格の内容との比較を行う。すなわち、PC グラウトの流動性を評価する試験方法に要求される事項をとりまとめるとともに、PC グラウトの流動性の評価に用いられている各種の漏斗を紹介する。現在一般に用いられている漏斗としては、ISO 14824-3 では Marsh コーンが、わが国では、JP 漏斗と JA 漏斗があるが、過去には P 漏斗、J 漏斗、J₁₄ 漏斗も用いられており、各漏斗で測定した流下時間の相互の直線関係の例を提示する。そして、ISO 規格への今後の国際統合化の対応策を提案する。

キーワード：PC グラウト、流動性評価、ISO 規格、JP 漏斗、JA 漏斗、Marsh コーン、P 漏斗、J 漏斗、J₁₄ 漏斗

1. はじめに

PC グラウトの流動性を評価する方法について、2012 年に制定された ISO 14824 (PC 緊張材のグラウト) の第 1 部に基本品質が、第 3 部に試験方法がそれぞれ規定されている。その内容はともに、欧州規格 (EN) の EN 445 (PC 緊張材のグラウト - 試験方法) と EN 447 (PC 緊張材のグラウト - 基本品質) に、それぞれ規定されているものと同じである。なお、ISO は部別に、EN は規格別になっている。世界貿易機関 (WTO) の「貿易の技術的障害に関する協定」(TBT 協定) に基づいて、わが国で用いられている PC グラウトについても、今後 ISO 14824 の規格を遵守していくことへの国際統合化が要請されてくる。

本稿では、PC グラウトの漏斗による流動性の評価方法を、土木学会とプレストレストコンクリート工学会の規準を中心に、その歴史を概説し、ISO 規格の内容との比較を行う。そして、ISO 規格への今後の国際統合化の対応策を提案する。

2. 流動性評価の試験器具の種類

PC グラウトの流動性を評価する方法としては、一般に漏斗による流下試験方法が採用されている。現在一般に用いられている漏斗は、表 - 1 に示すもののうち、ISO 14824-3 では Marsh コーンであり、わが国では JP 漏斗と JA 漏斗である。この表に示すように、P 漏斗、J 漏斗と J₁₄ 漏斗は、過去にわが国で用いられていたが、現在は J₁₄ 漏斗が充填モルタルの流動性評価に用いられている。

各種漏斗は、準拠された規準類に基づくものである。これら規準類の変遷を、表 - 2 に示す。

J 漏斗は、最初には有溝コーンを流出管の入口に設置して用いられていた。グラウト面が 30 mm 下がるのに要する時間の流下時間 (単位：秒) を求めるものである。このコ

ーンの良好なメンテナンスが困難だったためか、1979 年の改訂で、有溝コーンを用いない方法に変わってきた。

PC グラウトのシースの中に PC 鋼材が配置された状態における流動性を具体的に評価するために、沈入方法が提案され、北海道を中心に用いられていた¹⁾。最初は DIN に準拠した大型の試験器具であったが、その後取扱いが容易なように、1979 年の改訂では中型の試験器具が、土木学会規準に採り入れられた。そして、この沈入方法は、

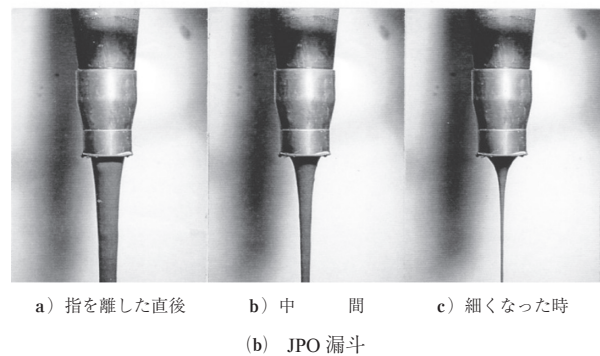
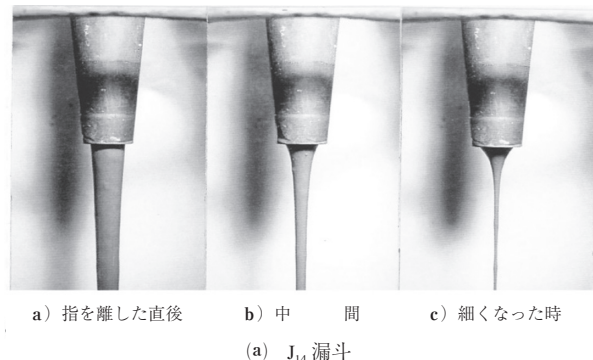


写真 - 1 漏斗の種類が異なる PC グラウトの流出状況

* Yukikazu TSUJI : 群馬大学・前橋工科大学 名誉教授

表 - 1 PC グラウト等の流動性試験用漏斗

	形状寸法	使用目的	規格
P 漏斗		容量：1 725 cc プレバックドコンクリートの注入モルタルと PC グラウトの流動性試験	* 1974 土木学会 * 1975 日本建築学会 JASS 5T-701 * 1986 土木学会 JSCE-1986
J 漏斗		容量：640 cc PC グラウトの流動性試験	* 1974 土木学会 (案) * 1986 土木学会 JSCE-1986 * 1975 日本建築学会 JASS 5T-701
JA 漏斗		容量：1 000 cc PC グラウトの流動性試験	* 1974 土木学会 (案) * 1986 PC グラウトの流動性試験 JSCE-1986 * 1999 PC グラウトの流動性試験 JSCE-F531 1999
J ₁₄ 漏斗		容量：約 630 cc 充填モルタルのコンシステンシー試験 PC グラウトの流動性試験	* 土木学会「膨張コンクリートの設計施工指針 (案)」 * 日本道路公団 (橋梁支承据付用無収縮モルタル) * 日本鉄道施設協会他
JP 漏斗		容量：約 630 cc PC グラウトの流動性試験	* 土木学会 PC グラウトの流動性試験 JSCE-F531 1999
Marsh コーン		容量：1 820 cc PC グラウトの流動性試験	* PC 緊張材のグラウト - 試験方法 ISO 14824-3

PC グラウトが 1.9 mm という狭い間隙を沈下錘が 500 mm (大型), または 250 mm (中型) 下がるのに要する時間の沈入値 (単位: 秒) で表わされる抵抗を主体的に測定する

もので, PC グラウトの性状を再現して鋭敏に測定できることを特徴としていた。しかしながら, 試験器具を清掃することが面倒であり, 全国には広まらなかった。1994 年

表 - 2 PC グラウトの流動性評価方法に関連する規準類の変遷

西暦 (年)	規準類	内容	備考
1955	土木学会 プレストレストコンクリート設計施工指針 制定	この指針に準拠して、各種の工法の設計施工指針（案）制定	
1961	土木学会 プレストレストコンクリート設計施工指針 改訂付録 PC グラウト指針案 制定	コンシステンシー試験方法案として、流下方法（Jロートによる試験方法）と沈入方法	
1979	土木学会 プレストレストコンクリート標準示方書（昭和53年制定）制定 PC グラウト試験方法（土木学会-1978）	流下方法にJA ロートが追加、Jロートは、有溝載頭コーンを除いて用いることに変更 解説に、JA ロートを用いることを推奨 沈入方法には、従来の大型に代わって中型が採用	
1986	土木学会 コンクリート標準示方書（昭和61年制定）施工編 制定 土木学会規準 PC グラウト試験方法（JSCE-1986）	Jロートではなく、JA ロートを用いることを標準	土木学会規準
1991	土木学会 コンクリート標準示方書（1991年制定）規準編 制定 土木学会規準 PC グラウト試験方法 土木学会 プレストレストコンクリート工法設計施工指針 制定	プレストレストコンクリート（PC）工法設計施工指針には、PC グラウトの試験は、土木学会規準によると規定	「コンシステンシー」から「流動性」への名称変更
1994	土木学会 コンクリート標準示方書（1994年制定）規準編 制定 土木学会規準 PC グラウトの流動性試験方法（JSCE-F531-1993）	流動性試験方法として、JA 漏斗とJ ₁₄ 漏斗が規定 J漏斗は削除 沈入方法は削除	「ロート」から「漏斗」への名称変更
1996	土木学会 コンクリート標準示方書（1996年制定）規準編 制定 土木学会規準 PC グラウトの流動性試験方法（JSCE-F531-1994）	流下時間の測定は、JA 漏斗を標準、粘性の大きいPC グラウトを用いる場合は、J ₁₄ 漏斗を推奨	
1999	土木学会 コンクリート標準示方書（1999年制定）規準編 改訂 土木学会規準 PC グラウトの流動性試験方法（JSCE-F531-1999）	流下時間の測定は、JA 漏斗とJP 漏斗が規定、J ₁₄ 漏斗は削除 J ₁₄ 漏斗は充填モルタルの流動性試験方法に適用	
2005	プレストレストコンクリート技術協会 PC グラウトの設計施工指針 制定	付録に、品質試験方法として、日本道路公団規格のJHS 419-2004 と JHS 420-2004 を引用	
2012	プレストレストコンクリート工学会 PC グラウトの設計施工指針-改訂版 発刊 ISO 14824（PC 緊張材のグラウト）制定	PC グラウトの流動性試験方法（自動質量計測方法）を制定	国際整合化
2013	土木学会 コンクリート標準示方書（2013年制定）規準編 改訂 土木学会規準 PC グラウトの品質試験方法の3方法（JSCE-F534-2012、JSCE-F535-2012、JSCE-F536-2012）を制定	PC グラウトの材料分離抵抗性試験方法（案）（JSCE-F534-2012）、PC グラウトのブリーディング率および体積変化率試験方法（案）（JSCE-F535-2012）、PC グラウトの単位容積質量試験方法（案）（JSCE-F536-2012）を制定	

の土木学会規準の改訂で、沈入方法は廃止となった。

J₁₄ 漏斗は、J 漏斗を内径が 14 mm になる位置で切断したものである。粘性の高い PC グラウトが用いられるようになったことに対応したものである。すなわち、ノンブリーディングタイプの PC グラウトの流動性を評価する試験方法として、JA 漏斗による測定が著しく困難な場合に用いることが、1991 年制定の土木学会『PC 工法設計施工指針』において明記された。

J₁₄ 漏斗は、高粘性の PC グラウトに対して提唱されたものであるが、従来からの低粘性のノンブリーディングタイプの PC グラウトの流動性の評価には、PC グラウト流が途切れることによる流出の完了を判定することについて、個人誤差が大きくなることが報告されていた。

J₁₄ 漏斗の先端に流出管を設置することにより、PC グラウト流が急激に細くなる場所の判定が、写真 - 1 に示すように、容易になることが明らかになった。そこで、JA 漏斗のように PC グラウトの全量が流出する時間ではなく、PC グラウト流が急激に細くなる場所までの時間を、「流下時間」と定義して用いるようになった。なお写真 - 1 の JPO 漏斗は、現在一般に用いられている JP 漏斗²⁾の原型であり、J₁₄ 漏斗に内径が 14 mm で、長さが 30 mm の流出管をべつに制作して取り付けられたものである³⁾。

J₁₄ 漏斗はまた、流出管が無く、下端内径が PC グラウトに直接接触して、磨耗しやすくなる。そのため、粘性の小さい PC グラウトの測定では、その磨耗の影響が著しく表れることが明らかになってきた。そのため、粘性の高い PC グラウトや充填モルタルの流動性の評価に用いられている。

Marsh コーンは、1950 年頃には泥水などの粘性を測るために一般に用いられていた。米国の米国石油協会では、このコーンに 1 500 cc の泥水を入れ、このうちの 946 cc（1 クオート）が流出する時間を、流過時間として測定していた。わが国でも、この方法に倣って、Marsh コーンに、500 cc の泥水を入れてこれが全部流出する時間、あるいは 1 500 cc の泥水を入れて、1 000 cc が流出する時間を測定していた¹⁾。1 000 cc の PC グラウトが流出する時間を測定することは、ISO 14827-3 の方法と同じである。

P 漏斗は、プレパクッドコンクリートの注入に用いる注入モルタルの流動性を測定する漏斗として、わが国では 1954 年に港湾工事に初めて米国より技術導入されたプレパクトコンクリート（現在は、プレパクッドコンクリートと一般に称されている。）が採用されてから、一般に実用されてきた⁴⁾。最大粒径が 1.2 mm の細骨材も混合している注入モルタルに用いるものの、流出管の内径は

12.7 mm で、JA 漏斗や J 漏斗よりは太く、J₁₄ 漏斗や JP 漏斗よりは細いものである。この漏斗は、アスファルトの粘性を測る Engler の粘度計とその測定原理は同じである。1950 年代から、PC グラウトの中には、細粒径の細骨材を混合したモルタルが用いられた工法があり、P 漏斗が PC グラウトにも用いられてきた。

漏斗の流出管の内径は、それを狭くすると PC グラウトの粘性を鋭敏に測定できるものの、流出に要する時間が長くなること、そして粘性が著しく高くなると閉塞することとなる。また、流出管の長さは、あまり短いと、PC グラウトの流下状態が不安定になる。

そして流出管はあまり長すぎると、PC グラウトの粘性の変化を鋭敏に反映させることができるが、清掃が困難となる。このような漏斗による測定結果の例を、次章に示す。

3. PC グラウトの流動性評価に用いた各種の漏斗

3.1 漏斗の種類と測定方法

PC グラウトの流動性評価に用いた漏斗は、図 - 1 に示す 4 種類である³⁾。土木学会規準 JSCE-F531 : 1993 (PC グラウトの流動性試験方法) で規定されていた J₁₄ 漏斗に加えて、内径が 14 mm で長さが 30 mm の流出管を特別に製作して J₁₄ 漏斗にテープで設置した JPO 漏斗、同じ流出管を溶接で設置した JP 漏斗、および流出管の長さを 50 mm として溶接で設置した JPL 漏斗の 4 種類である。

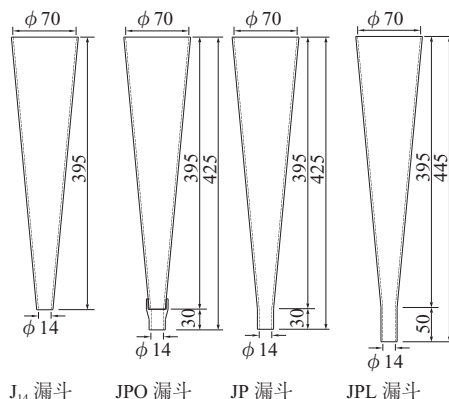


図 - 1 漏斗の形状寸法

流動性の測定方法は、JSCE-F531 に準じて行ったが、JPO 漏斗、JP 漏斗、JPL 漏斗では、流出管からの PC グラウト流が初めて途切れるまでの時間である「流下時間」の代わりに、前述した流出管からの PC グラウト流が急激に細くなるまでの時間を、「流下時間」として採用した。

流動性の試験は、PC グラウトの練混ぜ直後のほかに、20 ± 3 °C の室内で湿布を覆って 30 分および 60 分静置した後、手練りで 2 ~ 3 分間練り直した後にも行った。

水結合材比は、38 %、41 %、44 % の 3 種類とし、PC グラウト用混和剤を結合材の質量比で 1 %、膨張剤を結合材の質量比で 0.008 % それぞれ用いた。練混ぜ量が 2 L の各材料の使用量を、表 - 3 にまとめて示す。

使用材料としては、普通ポルトランドセメント、それにフライアッシュを 20 % 置換したもの、およびシリカフェームを 10 % 置換したシリカフェームセメントの 3 種類の結合材を用いた。そして、PC グラウト用混和剤として低粘性と高粘性の 2 種類を用いた。また、膨張剤として、反応遅延性のアルミニウム粉末を用いた。表 - 4 には、用いた結合材の品質を示す。

練混ぜには、パドルが葉脈状羽の万能混合攪拌機を用いた。結合材と膨張剤に一次水として結合材の質量比で 22 % の水を添加して 1 分 30 秒練り混ぜた後、残りの水を二次水として添加して更に 1 分 30 秒練り混ぜて、PC グラウトを造った。このような分割練混ぜ方法は、全材料を一度に投入して練り混ぜた一括練混ぜ方法に比べて、いわゆるセメントのダマが少なくなり、効率良く練り混ぜることができる^{5,6)}。

3.2 流下時間の判定

PC グラウトを漏斗上面まで注いで均らした後、流出口の指を離して PC グラウトを流出させた状況を写真 - 1 に示している。前述したように、指を離した直後と PC グラ

表 - 4 結合材の種類と品質

種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	記号
普通ポルトランドセメント	3.16	3 320	C
シリカフェームセメント	3.08	5 600	S
フライアッシュセメント	2.22	4 050	F

〔フライアッシュセメントと表示した結合材は、普通ポルトランドセメントに 20 % のフライアッシュを置換した。〕

表 - 3 PC グラウトの配合

結合材 B の種類	水結合材比 W/B (%)	セメント (g)	混和材 (g)	水 (g)			混和剤		膨張剤 (g)	記号*
				総量	一次水	二次水	1 GF-1700	2 GF-1720		
普通セメント C	38	2 871.7	—	1 091.2	631.8	459.5	28.72	28.72	0.230	C1,C2
	41	2 753.1	—	1 128.8	605.7	523.1	27.53	27.53	0.220	
	44	2 643.9	—	1 163.3	581.7	581.7	26.44	26.44	0.212	
シリカフェームセメント S	38	2 584.5	287.2	1 091.2	631.8	459.5	28.72	28.72	0.230	S1,S2
	41	2 477.8	275.3	1 128.8	605.7	523.1	27.53	27.53	0.220	
	44	2 379.5	264.4	1 163.3	581.7	581.7	26.44	26.44	0.212	
フライアッシュセメント F	38	2 297.4	574.3	1 091.2	631.8	459.5	28.72	28.72	0.230	F1,F2
	41	2 202.5	550.6	1 128.8	605.7	523.1	27.53	27.53	0.220	
	44	2 115.1	528.8	1 163.3	581.7	581.7	26.44	26.44	0.212	

* C1, S1, F1 : 混和剤 1
C2, S2, F2 : 混和剤 2

シリカフェームセメントはセメントに対して 10 % 置換
フライアッシュセメントはセメントに対して 20 % 置換

ウト流が細くなったとき、およびこれらのほぼ中間の時間におけるときの、それぞれのPCグラウト流を示している。この写真に示すように、 J_{14} 漏斗と JPO 漏斗のいずれも同じ PC グラウト流を経過するが、PC グラウト流が急激に細くなる状況は、 J_{14} 漏斗に比べて JPO 漏斗を用いた方が明瞭である。すなわち、PC グラウト流は時間とともに細くなっていくが、それが急激に細くなる状況は、 J_{14} 漏斗の代わりに JPO 漏斗を用いると非常に明瞭である。なお、PC グラウト流が細くなってから初めて途切れるまでの時間は、PC グラウトの品質によって異なり、数秒間かかる PC グラウトもあった。

3.3 流出管の影響

図 - 2 は、流出管の長さを J_{14} 漏斗が 0 mm と仮定して横軸にとり、PC グラウト流が急激に細くなるまでの時間を流下時間として縦軸にとり、測定値をプロットしたものである。 J_{14} 漏斗の場合は、PC グラウト流が急激に細くなるまでの時間を判定するのが困難である。そのため、流出管の長さが 30 mm の JP 漏斗の場合に急激に細くなったときの PC グラウト流の太さとはほぼ等しく PC グラウト流が細くなった時を、 J_{14} 漏斗を用いた場合の流下時間として採った。

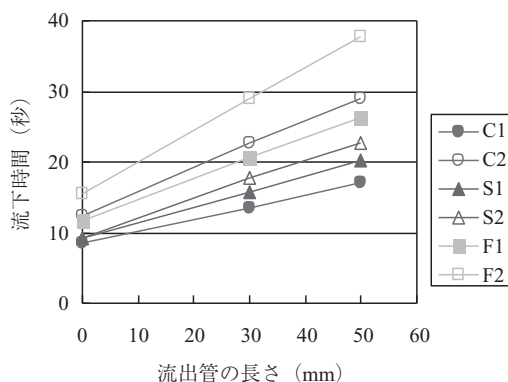


図 - 2 流出管の長さとの関係

流出管の長さが長くなると、流下時間は長くなっている。このことは、流出管の存在により PC グラウト流の流れが妨げられるためである。流出管の長さとともに流下時間が長くなる傾向は、粘性の大きさに関わらずすべての PC グラウトについてほぼ等しいことも認められる。なお、流出管の長さが流下時間に及ぼす影響は、PC グラウトの粘性が小さく、流下時間が短いほど緩和されている。

流出管の長さが 30 mm の JP 漏斗における流下時間と J_{14} 漏斗および JPL 漏斗における流下時間との関係を図 - 3 に示す。JP 漏斗の流下時間で 30 秒まで、JP 漏斗と J_{14} 漏斗ならびに JP 漏斗と JPL 漏斗のそれぞれの流下時間の間には、ほぼ以下に示す直線関係が認められる。

JP 漏斗と J_{14} 漏斗の流下時間の関係を式(1)に、また JP 漏斗と JPL 漏斗の流下時間の関係を式(2)にそれぞれ示す。

$$y = 2.01x - 2.46 \quad \dots \text{式(1)}$$

$$y = 0.74x + 0.82 \quad \dots \text{式(2)}$$

ここに、 y : JP 漏斗による流下時間 (秒)

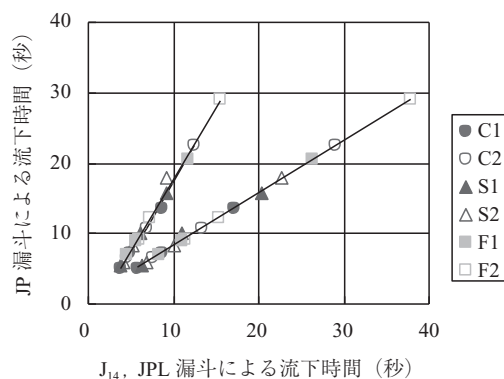


図 - 3 JP 漏斗と J_{14} 漏斗および JPL 漏斗の流下時間との関係

$$x: J_{14} \text{ 漏斗あるいは JPL 漏斗による流下時間 (秒)}$$

3.4 流出管の設置方法が異なる漏斗による流下時間

流出管の長さが 30 mm と同じではあるが、これを溶接で設置した JP 漏斗と、流出管を特別に製作して J_{14} 漏斗にテープで設置した JPO 漏斗で測定した流下時間を図 - 4 に示す。この図より、流下時間が 5 秒と粘性の小さな PC グラウトを用いた場合において、また流下時間が 30 秒と粘性の高い PC グラウトを用いる場合においても、JP 漏斗と JPO 漏斗で測定した流下時間は等しいとみなすことができる。

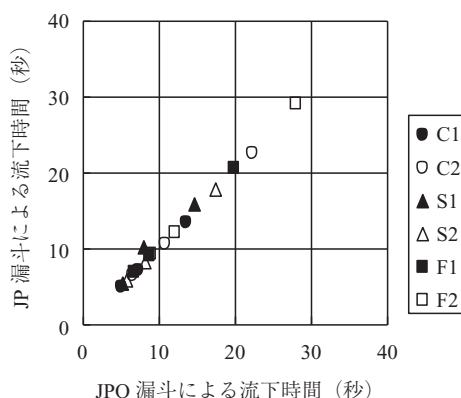
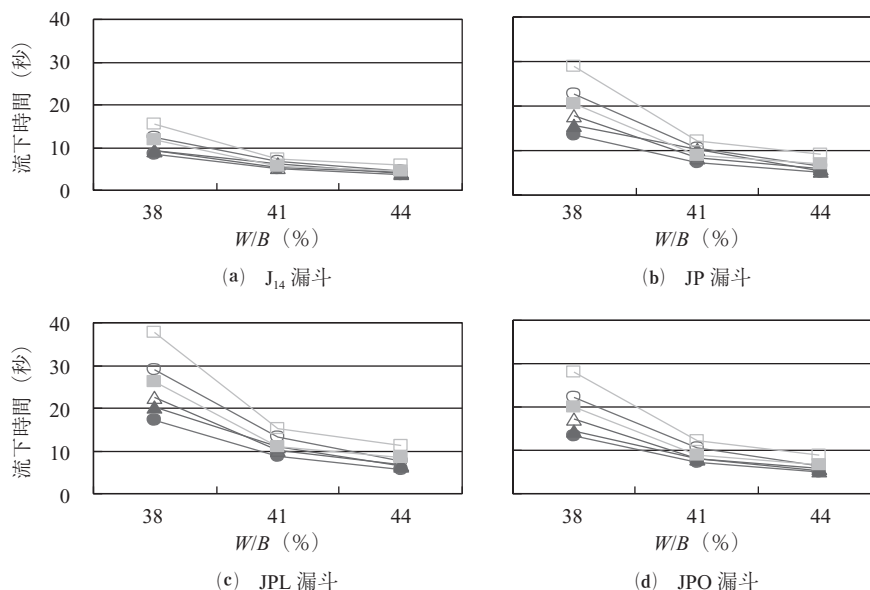


図 - 4 流出管の設置方法が異なる漏斗における流下時間

3.5 流下時間に及ぼす水結合材比と流出管の長さの影響

各漏斗による PC グラウトの流下時間と水結合材比 W/B との関係を図 - 5 に示す。前述したように、漏斗の種類が異なると PC グラウトの流下時間の値は異なるが、水結合材比が大きい PC グラウトほど、流下時間が小さくなることは明瞭である。また、PC グラウト用混和剤として低粘性の混和剤 1 を用いた PC グラウトが高粘性の混和剤 2 を用いたものよりも流下時間が小さくなる現象も、水結合材比が小さい PC グラウトほど著しい。この現象は、いずれの水結合材比および結合材の種類を用いた PC グラウトにおいても、またいずれの漏斗を用いても、等しく認められる。



凡例は図 - 2、図 - 3と同じ

図 - 5 流下時間におよぼす水結合材比の影響（練混ぜ直後）

このような流下時間は、流出管の長さが長くなると、長くなるとともに、PCグラウトの水結合材比が小さいほど、この長くなる時間が著しくなっている。すなわち、流出管の長さが長くなると、PCグラウトの品質の変化を鋭敏に測定できるのである。

4. PC グラウトの流動性評価試験方法の要求事項

PCグラウトの流動性を評価する試験方法に要求される事項としては、次のことがあげられる。

- ① PCグラウトの流動性を、精度良く把握でき、かつ試験時間が極端に長くなるような不都合のない試験方法である。
- ② 漏斗の製作方法による試験データのばらつきが小さいことである。J₁₄漏斗は、J漏斗から内径下端が14mmとなるように切断して製作している。JP漏斗は、最初はJ₁₄漏斗の先端に内径が14mmの流出管を取り付けて制作している。その流出管をどのようにして取り付けて精度を上げるかが、制作における要諦である。あるいは、その後は一体ものとしても製作されている。作られた漏斗によって誤差が出てこないものとする必要がある。
- ③ PCグラウト用混和剤の種類による流下時間の誤差に大きな相違がないことである。相対的に粘性の小さいPCグラウト用混和剤を使用したPCグラウトと高粘性のPCグラウト用混和剤を使用したPCグラウトとでは、後者のPCグラウトについては流下時間が長い分だけ誤差が大きくなる懸念される。
- ④ 漏斗試験器具の測定精度を確認するためのキャリブレーション方法の確立と、それに用いる標準材料の選定を通じて、漏斗試験の試験値を評価する共通・統一的なシステムを確立することを、今後目指していかなく

ればならない。これまでの研究から、標準材料には旧豊浦標準砂を選定し、キャリブレーションの具体的な手順として漏斗への試料の入れ方（高い位置から流し込むか、低い位置から静かに入れるか）や、測定方法（一定量の試料がすべて流下する時間を測定するか、漏斗にすり切り一杯の試料が流下しきる時間と流下した総質量を測定するか）を検討した結果が報告されている⁷⁾。

キャリブレーションの提案例を、表 - 5 に示す。旧豊浦標準砂の試料を漏斗へ入れるには、投入口の少し上から漏斗に自由に落下させて、少し漏斗より盛り上がるまで詰める。そして盛り上がった分を、ナイフエッジで試料を押さえつけないように水平に切り取るものである。

表 - 5 PC グラウトの漏斗のキャリブレーション方法

漏斗の種類	材料質量の範囲 (g)	流下時間の範囲 (秒)
JP 漏斗	830 ~ 860	8.9 ~ 9.3
J ₁₄ 漏斗	820 ~ 855	8.0 ~ 13.0
JA 漏斗	1 325 ~ 1 360	70.0 ~ 77.0

- ⑤ 複雑な測定方法は、たとえ原理的に優れていても、現場では結局歓迎されない。簡易な方法が利用される。

5. 流動性評価試験方法の国際整合化

PCグラウトの流動性評価試験器具としては前述したように、わが国では現在、JP漏斗とJA漏斗が一般に用いられている。ISO規格では、欧州規格のEN 445と同様に、Marshコーンが規定されている。今後は、Marshコーンの採用が、欧州等から要請されてくることが予想される。

この対応として、相互の漏斗試験器具による関連性を確認すること、およびわが国の漏斗試験器具がMarshコー

ンより優れていることを、国際的に宣伝して、JP 漏斗等も使用できる環境を整備しなければならない。

流動性評価試験器具の相互の関連性を検討するために用いた漏斗の形状寸法を、図 - 6 に示す⁸⁾。JA 漏斗および JP 漏斗は、JSCE-F531 1999 に規定されているものである。PC グラウトを漏斗上面まで注ぎ、上面を均した後に PC グラウトを流出させ、流出口からの PC グラウト流が急激に細くなるまでの時間を、流下時間として計測した。

また、今後の規格の国際整合化を考慮して、EN 445 : 1997 と同じ ISO 14824-3 (PC 緊張材のグラウト - 試験方法) に規定されている Marsh コーンについても実施した。Marsh コーンによる計測方法は、図 - 6 に示す a のラインまで PC グラウトを投入後、1 000 cc の PC グラウトが流出する時間を、流下時間として計測するものである。

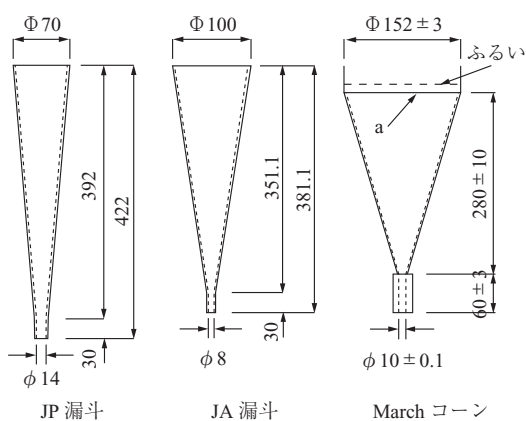


図 - 6 漏斗の形状寸法

試験に用いた PC グラウトの配合を、表 - 6 に示す。混和剤タイプは、水、セメントおよび PC グラウト用混和剤を練り混ぜるもので、セメントに対する PC グラウト用混和剤の添加量は 1 ~ 2 % (セメント質量比) である。これに対し、プレミックスタイプは、水と結合材 (粉体) のみを練り混ぜるものである。混和剤タイプには、主として普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を用い、補足的に早強ポルトランドセメントを使用した。また、使

用するセメントは代表的な製造会社の品質を平均化するため 3 社製品を等分混合するものとした。なお表 - 6 の材料の記号は、最初は製造会社、2 番目が製造会社の製品の種類、3 番目が混和剤タイプのセメントの種類である。

各 PC グラウトの水結合材比は、漏斗試験の管理限界値を検証することを念頭に置き、6 水準程度を設定することとした。その際、水結合材比の上限値および下限値は、ブリーディングの発生限界および練混ぜ限界を目安として、予備実験の結果から設定した。

練混ぜは、1 袋練り用 (20 ~ 30 L) の写真 - 2 に示す円筒型 PC グラウトミキサを用いた。このミキサは、従来一般的に用いられていた四隅に小さな隅角がある四角型ミキサの練混ぜ性能を改善したものである⁹⁾。練混ぜ時間は、各 PC グラウト材料の製造者が推奨する時間とし、練上り温度は 20 °C を目標とした。

JP 漏斗および Marsh コーンでは、すべての PC グラウトについて、流下時間を計測することができた。しかし、JA 漏斗を使用した場合、水結合材比が小さい配合 (D-1, D-2 の一部の材料) では、閉塞して流下時間を計測することができなかった。流出管の内径が一番小さかったことによる。

流下時間を測定できた PC グラウトについて、各漏斗の流下時間を比較した結果を図 - 7 に示す^{8, 10)}。JP 漏斗, JA 漏斗, Marsh コーンの流下時間は既往の研究と同様に、それぞれで強い相関関係が認められる。

図 - 8 は、プレミックスタイプと混和剤タイプの PC グラウトについて、Marsh コーンと JP 漏斗における流下時間の関係を示した例である¹¹⁾。プレミックスタイプでは、超低粘性型と低粘性型から高粘性型を、混和剤タイプでは、低粘性型と高粘性型の PC グラウトが含まれている。この場合も、練混ぜ後からの時間経過により異なるが、Marsh コーンと JP 漏斗にそれぞれ強い相関関係が認められる。

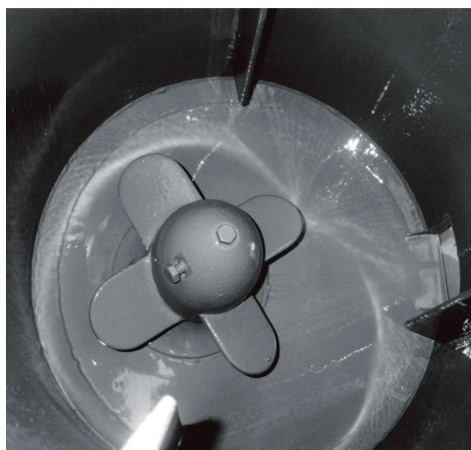
このようなわが国で用いられている漏斗と Marsh コーンとの相関式を種々な PC グラウトについて求めることが、今後必要である。そして、ISO 14824 の Marsh コーンに代えて、JP 漏斗および JA 漏斗を使用できることを主張する

表 - 6 PC グラウトの配合 (流下時間の相互関係)

材料	粘 性	タイプ	セメント種類	水結合材比 (%)					
				下限	標準			上限	
A-1-N	高粘性	混和剤	普通 (N)	39	41	43	45	47	49
A-2-N	低粘性			39	41	43	45	47	49
B-1-N	高粘性			39	40	41	43	45	47
C-1-N	超低粘性			31	33	35.5	37	—	38.5
D-1	高粘性	プレ ミック ス	—	22	23	25	26	27	28
D-2	低粘性			26	27	28	30	31	32
C-2	超低粘性			24	26	27.5	29	31	33
E-1	高粘性			36.5	37.5	38.5	40	42	44
A-1-BB	高粘性			41	42	43	45	47	49
A-2-BB	低粘性	混和剤	高炉 B (BB)	41	43	44	45	47	49
B-1-BB	高粘性			39	40	41	43	45	47
C-1-BB	超低粘性			30	33	34	35.5	—	37
A-1-H	高粘性			36	38	40	42	44	46
B-1-H	低粘性	混和剤	早強 (H)	—	—	45	—	—	—

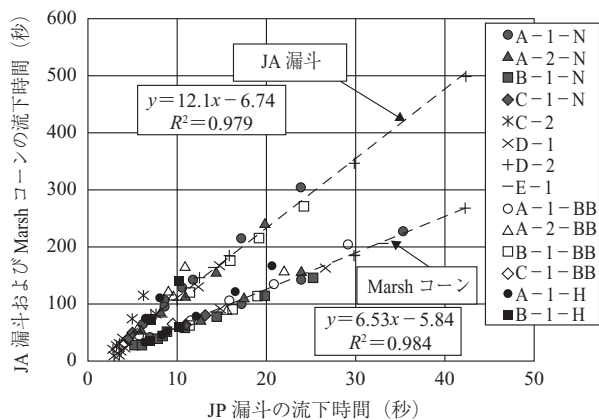


(a) 全 体



(b) 練混ぜ槽内

写真 - 2 PC グラウトミキサ (円筒型)



x : JP 漏斗の流下時間の測定結果
y : JA 漏斗または Marsh コーンの流下時間の測定結果

図 - 7 各種漏斗における流下時間の比較

ことは、わが国の PC グラウト規格の国際統合化への第一歩と考えられる。

6. おわりに

PC グラウトの漏斗による流動性の評価方法の種類とその歴史を、土木学会とプレストレストコンクリート工学会の規準を中心に概説した。そして、ISO 14824 の PC グラ

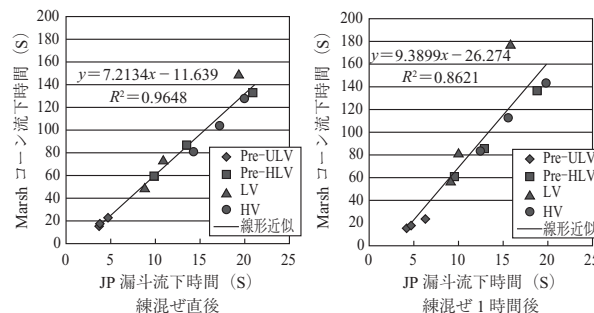


図 - 8 JP 漏斗と Marsh コーンにおける流下時間の比較

ウトの規格内容との比較を行い、ISO 規格への今後の国際統合化への対応策を提案した。

本文が、今後のわが国のプレストレストコンクリート分野における国際対応の一助になれば、幸甚である。

参考文献

- 樋口芳朗：グラウトのコンシステンシー測定方法，土木学会誌，45-6，昭和 35 年 6 月，pp. 39-41
- 辻 幸和，高田 誠：土木学会規準「PC グラウト試験方法 - JSCE - F531 - 1993」の改訂および「充填モルタル試験方法(案) - JSCE - F542 - 1993」の制定，土木学会論文集，No.484/ V -22，pp.31-32 (1994)
- 池田正志，辻 幸和，山口光俊，金田和男：PC グラウトの流動性評価試験方法，プレストレストコンクリート技術協会第 9 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.497-502 (1999)
- 赤塚雄三：注入モルタルの流動性測定について，土木学会誌，48-5，1963，May，pp.71-73
- 辻 幸和，池田正志，橋本親典，浦野真次：高強度 PC グラウトの製造に関する基礎研究，プレストレストコンクリート，Vol.36，No.3，May 1994，pp.47-56
- 宮前俊之，辻 幸和，池田正志，広瀬晴次：分割練混ぜ方法による高粘性 PC グラウトの製造，プレストレストコンクリート技術協会第 11 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.763-768 (2001)
- 辻 幸和，河井 徹，十河茂幸，鈴木一雄：PC グラウト用漏斗のキャリブレーション方法の提案，プレストレストコンクリート，Vol. 43，No. 4，pp.67-71 (2001)
- 山口光俊，細野宏巳，野島昭二，辻 幸和：PC グラウトのレオロジー特性に関する統一試験，プレストレストコンクリート技術協会第 13 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.175-178 (2004)
- 辻 幸和，広瀬晴次，北山裕康，田中和重：新型ミキサによる高粘性 PC グラウトの製造，プレストレストコンクリート技術協会第 11 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.769-774 (2001)
- M. Yamaguchi, S. Nojima, Y. Tsuji, and T. Yamaguchi; A Study on Rheology Test Methods of Grout for Prestressed Concrete, Proceedings of the 2nd International Congress, ID 14-2, Naples, Italy, June (2006)
- 吉松秀和，山口隆裕，野島昭二，呉 承寧：PC グラウトのフレッシュ性状確認に関する統一試験(室内試験 1)，プレストレストコンクリート工学会第 21 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.597-600 (2012)

[2015 年 2 月 18 日受付]