

論文 打込み中の降雨が高流動コンクリートの品質に及ぼす影響

中村博之^{*1}・近松竜一^{*2}・十河茂幸^{*3}

要旨：コンクリートの打込みは、降雨時を避けて行うのが原則である。しかし、実際にはコンクリートの打込み中に天候が急変し、降雨に遭う場合も少なくない。そこで、本研究では、各種のコンクリートを降雨下で打ち込んだモデル試験体を作製し、打込み中の降雨がコンクリートの品質に及ぼす影響について調査した。その結果、普通コンクリートを降雨下で打ち込んだ場合は、躯体内の強度のばらつきが大きくなるのに対し、高流動コンクリートの場合には、10mm/h 程度までの降雨量であればコンクリートの強度に及ぼす影響が小さいことが明らかとなった。
キーワード：打込み、降雨量、高流動コンクリート、締固め、圧縮強度

1. はじめに

屋外のコンクリート工事においては、気象条件を十分配慮する必要がある。特に、コンクリートの打込みは、降雨時を避けて行うのが原則である。しかし、実際には、打込み中に天候が急変して降雨に遭う場合など、必ずしも良好な環境下でコンクリートの打込みが行えないこともある。

降雨下でコンクリートを打ち込んだ場合、コンクリート中に雨水が混ざったり、モルタルが流出するなど、コンクリートの品質に悪影響を及ぼすことが懸念される。特に、降雨量が少なくても、局所的に雨水が集中すれば水セメント比が大きくなる恐れもあり、降雨がコンクリートの品質に及ぼす影響を把握する意義は大きい。

降雨に関する規定としては、コンクリート標準示方書ダム編に、1時間当たり 4mm 以上の雨が降る場合はコンクリートの打込みを中止すべきとされているが¹⁾、一般には降雨に対する規定が示されていない。また、降雨に関連した既往の研究としては、打込み直後に降雨が生じた場合の影響^{2), 3), 4)}や、型枠内の残水がコンクリートの品質に及ぼす影響⁵⁾などの検討事例があるが、打込み中の降雨の

影響に関してはほとんど検討がなされていない。さらに、降雨の影響は、降雨の程度や打込み条件にもよるが、コンクリートの配合や締固めの有無によっても異なることが予想される。

そこで、本研究では、普通コンクリートと高流動コンクリートを対象に降雨下で打ち込んだモデル試験体を作製し、打込み中の降雨がコンクリートの品質に及ぼす影響を調査した。

2. 実験概要

2.1 検討要因および水準

本実験における検討項目および水準の一覧を表-1に示す。実験には、普通コンクリートと高流動コンクリートを用いた。普通コンクリートは、土木工事に一般的に使用されているものとして、水セメント比 55%、スランプ 12cm の配合とした。高流動コンクリートは、強度レベルの違いの影響を調べるため、水セメント比 30%および 45%の 2種類の配合を用いた。

降雨量については、一般的に、降雨の程度は 1時間当たりの雨量(mm/h)で表され、1 ~ 5mm/h 程度の雨は小雨、10~20mm/h 程度になると大雨とい

* 1 (株)大林組 技術研究所 土木第三研究室 研究員 工修 (正会員)

* 2 (株)大林組 技術研究所 土木第三研究室 研究員 工修 (正会員)

* 3 (株)大林組 技術研究所 土木第三研究室 室長 工博 (正会員)

われている^{6),7)}。本研究では、単位時間内に連続的に一定の割合で雨が降る（降雨速度は一定）と仮定した場合の1時間当たりの雨量(mm/h)を降雨量と定義し、降雨の水準を0、10、20 および 40mm/hとした。また、降雨のない条件として、湿度100%の場合とともに、日射や風などによりコンクリート表面が乾燥する場合を想定し、送風により強制的に乾燥させた場合についても検討した。

2.2 コンクリートの配合および基礎物性

使用した各材料を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は木更津産陸砂、粗骨材は青梅産碎石を使用した。

各コンクリートの配合を表-3に示す。普通コンクリートの配合は、水セメント比55%でスランブが12cmとなるように試し練りにより決定した。高流動コンクリートは粉体を比較的多量に用いる粉体系高流動コンクリートとし、配合の目標値は、スランブフローを65±5cm、空気量4.5±1.5%とした。水セメント比は、30%を基本とし、セメントの一部を石灰石微粉末で置換した水セメント比45%の高流動コンクリートについても実験を行った。高性能AE減水剤は、目標スランブフローを満

表-1 検討の一覧

コンクリートの種類	W/C (%)	降雨量 (mm/h)				
		乾燥	0	10	20	40
普通	55.0	○	○	○	○	○
高流動	30.0	○	○	○	-	○
高流動	45.0	-	-	-	-	○

表-2 使用材料

種類	記号	名称	特性・成分
セメント	C	普通ポルトランドセメント	比重:3.16, 比表面積:3350cm ² /g
混和材	LS	石灰石微粉末	比重:2.71, 比表面積:5000cm ² /g
細骨材	S	木更津産陸砂	比重:2.60, 吸水率:1.67%, 粗粒率:2.46
粗骨材	G	青梅産碎石 2005	比重:2.66, 吸水率:0.75%, 粗粒率:6.66
混和剤	SP	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系

表-3 コンクリートの配合

コンクリートの種類	スランブ, スランブフロー (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤 SP (P×%)
					W	P		S	G	
						C	LS			
普通	12	4.5 ± 1.5	55	45.0	157	285	-	829	1035	-
高流動	65 ± 5		30	49.5	175	583	-	767	800	2.20
高流動	65 ± 5		45	49.5	175	389	165	767	800	1.30

表-4 コンクリートの諸物性

コンクリートの種類	W/C (%)	物性	スランブ, スランブフローの経時変化 (分)					ブリーディング率 (%)	凝結時間 (分:秒)		圧縮強度 (N/mm ²)		
			直後	10	20	30	60		始発	終結	3日	7日	28日
		AIR (%)	3.6	3.7	3.8	4.2	-						
高流動	30.0	SF (cm)	59.0	60.5	62.5	59.0	54.0	0.00	7:31	9:01	49.8	55.2	66.5
		AIR (%)	3.3	3.4	3.6	3.5	4.5						
高流動	45.0	SF (cm)	64.5	67.5	65.5	61.0	44.0	0.03	4:50	6:10	-	46.3	55.0
		AIR (%)	4.8	4.1	4.7	5.0	5.5						

足するように添加量を調整して決定した。

コンクリートの物性として、スランプまたはスランプフローの経時変化、空気量、ブリーディング、凝結時間および圧縮強度を測定した。測定した結果を表-4に示す。

モデル試験体を作製するためにコンクリートを3回に分けて打ち込んだ。各バッチで採取した標準養生供試体の材齢28日の圧縮強度の平均値とその標準偏差および各ケース毎の圧縮強度の平均値を表-5に示す。

降雨の混入によりコンクリートの水セメント比が増加した場合の強度の低下の傾向を把握するため、表-3に示した配合に水量を外割で添加した場合と降雨なしの3ケースの圧縮強度と水セメント比との関係を図-1に示す。

2.3 降雨の影響の評価方法

降雨がコンクリートの品質に及ぼす影響を調べるために、モデル試験体の躯体内部からコアを採取した。コア供試体はφ10×20cmとし、図-2に示すようにモデル試験体のコンクリートの打込み部と型枠端部において鉛直方向と水平方向から採取した。各配合のコア供試体の圧縮強度試験は材齢28日で行った。

2.4 モデル試験体の作製

モデル試験体は、縦45cm、横45cmの断面で、打込み部から型枠端部までの長さを1.2mとした。

コンクリートの打込みは、3層に分けてコンクリートを打ち込むものとし、1層を10分間として合計30分間で完了するように試験体を作製した。コンクリートは型枠端部から投入した。普通コンクリートの場合の締固めは、各試験体毎で条件を一定として行った。なお、高流動コンクリートは締固めを行わないものとした。

各降雨量に相当する水は、気象再現室(室温20℃一定)で打込み中噴霧した。その水量は、試験体一体当たりに換算してそれぞれ0, 2.7, 5.4, 10.8ℓとなる。乾燥条件とする場合は、湿度40%でコンクリート表面に扇風機により送風し、コンクリート表面を強制的に乾燥させるようにした。この場合の乾燥水量は、打込み中に蒸発する水量

表-5 標準養生供試体の圧縮強度

普通コンクリート			高流動コンクリート		
記号	平均圧縮強度 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	記号	平均圧縮強度 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)
N-D	35.8	35.5	HF-D	66.5	66.6
	35.1			66.0	
	35.7			67.5	
N-0	35.0	33.1	HF-0	69.0	68.8
	32.7			69.0	
	32.1			68.6	
N-10	36.8	36.5	HF-10	67.0	69.5
	37.1			71.5	
	35.6			59.1	
N-20	35.9	36.4	HF-40	66.5	68.3
	36.1			72.1	
	37.2			67.5	
N-40	32.1	36.2	HF-40	43.0	51.6
	36.2			56.8	
	35.1			55.0	

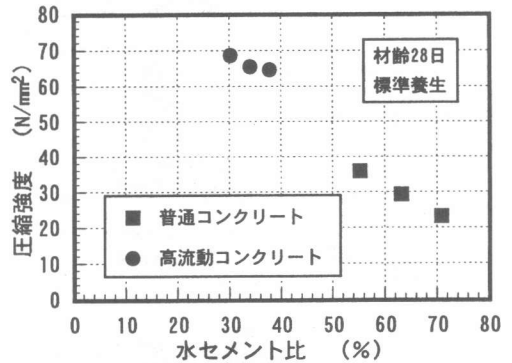


図-1 降雨に相当する水量を外割り添加した後の水セメント比と圧縮強度との関係

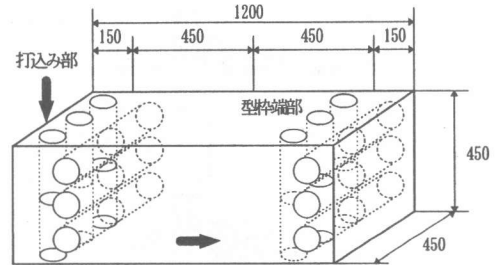


図-2 モデル試験体寸法とコア供試体採取位置

を測定した結果、30分間で試験体の面積当たり150gであった。打込み後は、表面を金ごてを用いて軽く均した後、ビニールシートで覆って養生した。コア供試体は、材齢7日で採取した後、材齢28日まで20℃水中養生を行った。

表-6 コア供試体の圧縮強度の統計処理結果

1 試験体当たりのコア供試体数：n=24

コンクリートの種類		普通コンクリート					高流動コンクリート				
水セメント比 (%)		55.0					30.0			45.0	
降雨量 (mm/h)		乾燥	0	10	20	40	乾燥	0	10	40	40
コア供試体	最大値 (N/mm ²)	40.5	36.3	37.8	37.2	39.6	66.9	67.9	69.2	66.4	55.0
	最小値 (N/mm ²)	27.8	29.6	23.4	24.6	26.1	52.1	54.9	57.3	49.6	35.2
	平均値 \bar{m} (N/mm ²)	33.5	33.3	32.9	31.7	32.1	63.1	62.2	64.0	60.7	48.2
	標準偏差 σ (N/mm ²)	2.91	1.24	2.94	2.73	2.47	2.23	2.27	2.33	4.20	4.42
	変動係数 (%)	8.69	3.72	8.94	8.61	7.69	3.27	3.65	3.64	6.92	9.17

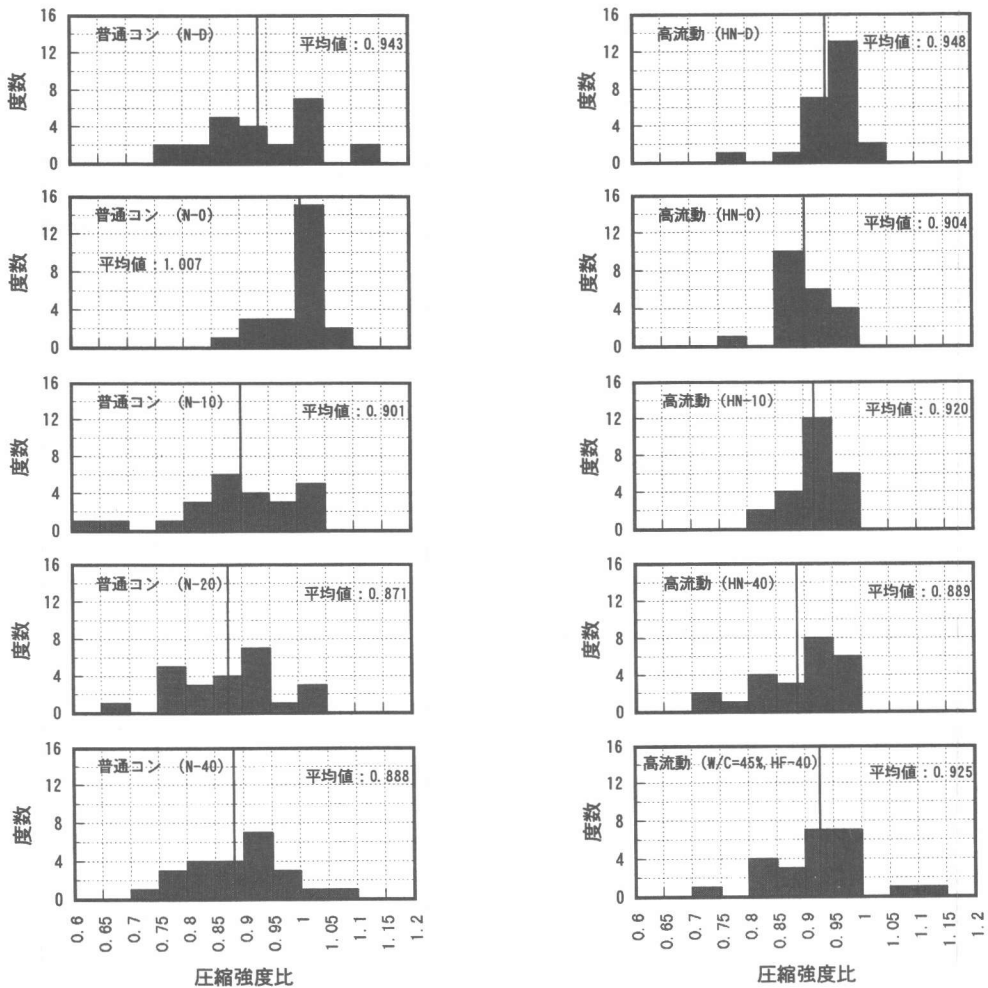


図-3 各試験体から採取したコア供試体の圧縮強度分布

3. 実験結果および考察

コア供試体の圧縮強度の統計処理結果を表-6に示す。また、普通コンクリートと高流動コンクリートのコア供試体の圧縮強度のばらつきを比

較した。各ケース毎の標準養生供試体の圧縮強度の平均値とコア供試体の圧縮強度の比を算出し、図-3に示す。

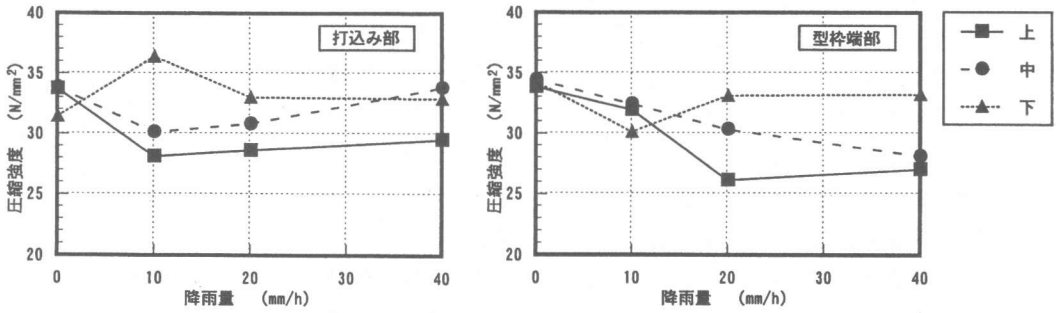


図-4 普通コンクリートにおける各試験体の部位別圧縮強度

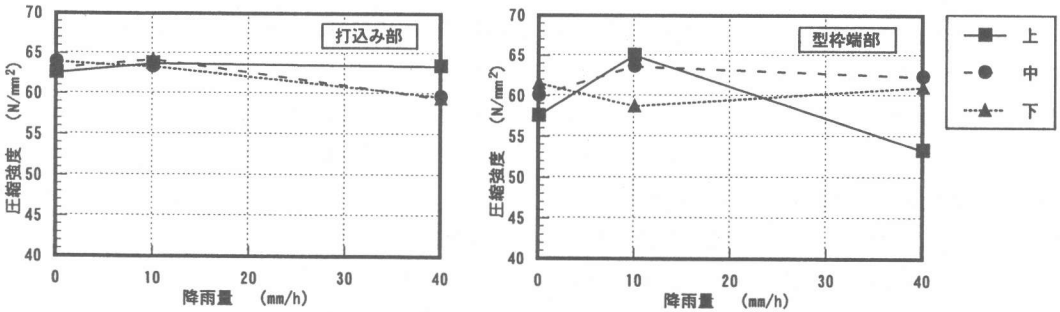


図-5 高流動コンクリートにおける各試験体の部位別圧縮強度

3.1 普通コンクリートと高流動コンクリートの品質に及ぼす降雨量の影響

表-6より、普通コンクリートは、降雨量が10mm/h以上の場合には影響があるといえる。これは、降雨がコンクリートに混入することにより、躯体内の強度は一樣にならず部分的に強度の低下が生じているものと考えられる。一方、高流動コンクリートの変動係数は、降雨量が10mm/hまでは降雨のない場合とさほど変わらなが、降雨量が40mm/hになると、変動係数は大きくなる。

図-3より、普通コンクリートでは、降雨により圧縮強度比が0.9~0.6となる部分が多くなる。圧縮強度比が0.65となるものは、降雨が均一にコンクリート中に混ざったと仮定した図-2により換算すると、水セメント比は約70%となる。高流動コンクリートでは、変動係数がほぼ同じ値を示している降雨のない場合と降雨量10mm/hの場合は、圧縮強度比のばらつきは大差ないといえる。

変動係数が大きくなった降雨量40mm/hの場合、圧縮強度比が0.9以下となるものが増加するものの、分布の中心位置は普通コンクリートに比べて小さくはならない。水セメント比45%の高流動コ

ンクリートは、降雨量40mm/hの高流動コンクリート場合と同様に0.9以下となるものが見られた。また、コンクリート表面の水分を乾燥させるように送風して作製したものについては、乾燥により、普通コンクリートの変動係数は大きくなり、圧縮強度比のばらつきにおいても0.9以下のものが多くなる。一方、高流動コンクリートにおいて乾燥による影響は、ほとんど見受けられない。

以上より、降雨に対する抵抗性は、普通コンクリートに比べ、高流動コンクリートの方が大きいと考えられる。また、高流動コンクリートであっても降雨量が40mm/h程度の場合は、降雨によるコンクリートの強度への影響は大きくなるものと思われる。

3.2 コンクリート躯体内部の強度分布

図-4, 5に打込み部と型枠端部での降雨による鉛直方向の圧縮強度の影響を示す。各部の圧縮強度は、水平方向から採取したコア供試体2本の平均値である。

図-4より、普通コンクリートのコア強度は、降雨量の増加により全体的に減少する傾向が認められる。また、鉛直方向においても、下部より上

部の方が強度の低下が大きいといえる。さらに、打込み部より型枠端部の方が強度の減少傾向が大きい。水平方向の強度の低下の原因は、雨水が締固めにより一部混ざってしまうことによるものと考えられる。上部に向かって強度の低下が大きいのは、締固めにより表面部に水が上昇してくることにより、下部より上部の水セメント比が大きくなったためと考えられる。

一方、高流動コンクリートは、型枠端部において、コア強度のばらつきが大きくなる傾向が認められる。また、降雨量が40mm/hでは、型枠端部の上部での強度の低下が著しい。打込み部では、順次コンクリートが供給されており、雨水がコンクリート中に混ざることが少ないと考えられる。これに対して、コンクリートが表面に溜まる雨水を流動とともに押し流すことにより、最終的に型枠端部では、雨水が集中し強度の低下が生じたものと考えられる。

4. 降雨対策について

降雨による影響は、普通コンクリートにおいては、降雨量の大小に関わらず全ての場合において影響を受けている。これはコンクリート表面に溜まった雨水が締固めにより一部コンクリートに混ざることによると考えられる。このことから、降雨時は、コンクリートの表面に雨水が溜まらないようにシート養生などの対策が望ましい。

高流動コンクリートにおいては、コンクリートが先に打ち込んだコンクリートの表面を流動し、コンクリート表面に溜まる雨水は順次押し流されていくので、最終的に型枠端部に集中する。小雨程度の雨であれば最終的に集中する雨水の量は少なくコンクリートに巻き込まれる水量は少ないと思われる。つまり、高流動コンクリートにおいては、粘性が高く、締固め作業が不要であることから、コンクリート中に雨水が混ざることが少ないと考えられる。また、型枠端部等に集中する雨水を排水する設備を設けることで降雨による強度低下を低減することができると思われる。

5. まとめ

打込み中に降雨を受けた場合を想定して行った実験結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 普通コンクリートは、降雨量が10mm/h以上の場合には、躯体内部の圧縮強度のばらつきが大きくなる傾向にある。

(2) 高流動コンクリートは、降雨量が10mm/h程度以下であれば降雨による影響は小さい。

(3) 降雨量40mm/hを受けた高流動コンクリートは、型枠端部の上部で強度の低下が大きい。ただし、部分的に集中して溜まる雨水を排水をすることにより、型枠端部での降雨の影響を低減できると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：平成8年制定コンクリート標準示方書，ダム編，pp. 39-40，1996
- 2) 浦 憲親：コンクリートの品質特性に及ぼす打ち込み時の加水の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 10，No. 2，pp109-114，1988
- 3) 浦 憲親：コンクリートの品質に及ぼす降雨の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 12，No. 1，pp. 979-984，1990
- 4) 浦 憲親：コンクリートの性質に及ぼす施工時の降雨の影響，セメント・コンクリート論文集，No. 47，pp. 802-806，1993
- 5) 村田将美，美濃部秀雄，森川 清：型枠内の残水がコンクリートの品質に及ぼす影響，第3回生コン技術大会研究発表論文集，pp. 169-174，1985
- 6) 柿崎正義：もし工事中に雨が降りだしたらどうすればよいですか？，コンクリート工学，Vol. 19，No. 2，pp. 62，1981
- 7) 高橋喜彦：降雨の物理学，地人書館，p. 5，1959