

論文
[1020] 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

正会員 浦 憲親 (金沢工業大学)

1. はじめに

日本海沿岸の地方では、四季に関係なく、天候の急変が著しいことが特徴である。このような地方におけるコンクリート施工は、打ち込みはもとより、気温、降雨量、風速などの気象条件には、事前の対策と注意が必要である [1, 2]。

寒・暑中コンクリートでは、前述の気温等について、適当な処置を講ずるため [3]、コンクリートの性状に及ぼす施工上の欠陥も少ないといえる。しかし、施工中に突然の降雨を受けたコンクリートの場合 [4]、寒・暑中コンクリートに比べて弊害も多いと考えられるが、あまり問題にされず重要視していないようである。

本論文は、気象変化の著しい北陸地方のコンクリート工事において、降雨がその性状に如何なる影響を及ぼすのかを定量的に把握することを最終目標として行なった基礎的な実験結果である。

2. 金沢の気象、降水量のモデル

2.1 金沢の気象

金沢における平年の気象条件は、図-1、2に示すように、平均気温14.0℃、降水量2645mmで、日降水量1mm以上の日数は187日となる。また、平年の湿度は、76%で、日降水量10mm以上の日数が87日を数える [5]。仙台は、直接には関係はないが、日本海側との比較として示した。

2.2 降水量のモデル

降水量のモデルは、φ10×20 cmの鋼製型わくを用いて作った。方法は、図-3に示すように、母材コンクリートの1層目打ち込み後に加水し、その上に2層目を打ち、これを施工中に受けた降雨とみなした。打ち込み高さは、各層90mm前後で、母材コンクリートは、水セメント比45,55及び65%の3種類である。加水は、降水量にして0, 1, 3および6mm深さとした。その容積は、

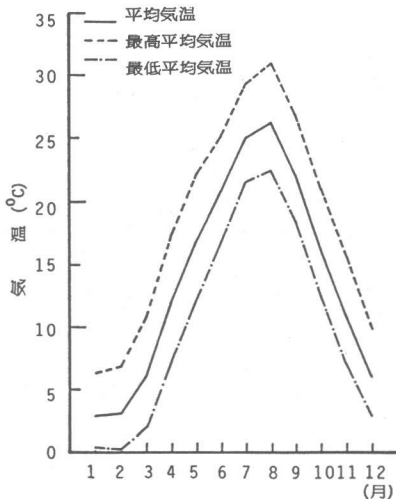


図-1 金沢における月別平均気温

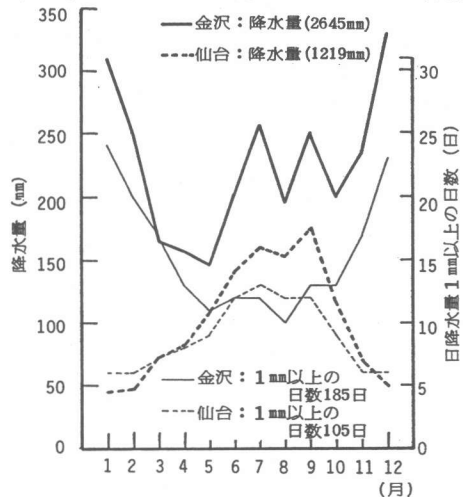


図-2 2地区の月別降水量及び日降水量1mm以上の日数

型わく 1本1570ccあたりに換算すると、それぞれ 0, 7.85, 23.55 および47.10 ccとなる。なお、実験は、母材コンクリートの水セメント比55%の乾燥養生について主に行なった。

3. 実験概要

3.1 使用材料及びコンクリートの調合

セメントは、市販の普通ポルトランドセメントを使用した。細・粗骨材は、表-1に示す石川県手取川産で、表乾に近い状態で使用した。練り混ぜ水は、大学内の飲料用の井戸水を用いた。

母材コンクリートの調合は、試し練りにより決定したブレンコンクリートで、表-2に示した。

3.2 供試体の製作、脱型、養生および試験材令

試験体は、関連のJIS規格に準じ、φ10×20cmの鋼製型わくを用いて2層詰めとし、各層11回ずつ突き棒で突いたのち木ずちで周囲を軽くたたいて製作した。その際、コンクリートは、加水の有無に関係なく、型わく上部からあふれないように5~10mm下げ、周囲をシートで覆い脱型時まで恒温恒湿室内に静置した。

試験体は、製作後、大略24時間でキャッピングを行ない、48時間目に脱型し、それぞれの養生を所定の試験材令まで行なった。養生は、標準養生（水中：20±3℃）と居室内に設置した恒温恒湿室（温度：20±3℃、湿度：60%RH）内の気中での乾燥状態の2種類とした。

試験材令は、28,63 および91日で所定の試験を行なった。

3.3 重量変化率及び超音波伝播速度変化率

重量変化率及び超音波伝播速度変化率は、材令91日の試験体一本を連続して測定したもので、それぞれの脱型時を基準として、 $A = (A_2 - A_1) / A_1 * 100 (\%)$ により求めた。

A：各試験による変化率（%） A1：各試験による脱型時の測定値

A2：各試験による所定材令の測定値

3.4 動弾性係数および超音波伝播速度試験

動弾性係数は、JIS A 1127に従って、縦振動から求めた。

超音波伝播速度は、ジルコン酸チタン酸鉛(PZT-4)セラミック製の200kHzトランジューサーを用いて直接法で超音波伝播時間を測定し、 $V_p = L / T$ により算出した。

V_p ：超音波伝播速度(m/s) L：供試体の長さ(cm) T：超音波伝播時間(μs)

3.5 圧縮強度および静弾性係数試験

圧縮強度は、JIS A 1108の規定に従って、所定材令ごとに行なった。

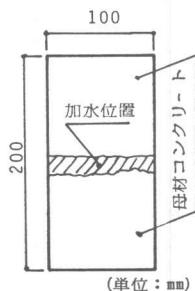


図-3 降水量のモデル

表-1 骨材の物理試験結果

項目 種類	産地	比重	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/L)	実積率 (%)	最大寸法 (mm)	粗粒率
粗骨材	手取川	2.61	1.92	1.598	62.4	25	6.81
細骨材		2.56	2.42	1.640	65.6	2.5	2.91

表-2 母材コンクリートの実施調合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	W/C (%/wt)	S/a (%/v ℓ)	W (kg/m 3)	ℓ /m 3			kg/m 3		
					C	S	G	C	S	G
25	18	4.5	40.0	198	140	261	391	440	668	1021
		5.5	43.3	190	110	299	391	345	765	1021
		6.5	45.8	188	92	325	385	289	832	1004

静弾性係数は、圧縮試験と同時に、検長100 mmのコンプレッソメータ（感度： 2000×10^{-6} ひずみ/mm）を用いてひずみをX-Yレコーダに記録し、最大応力の1/3で、

$E = (S1 - S2) / \varepsilon - 50 \times 10^{-6}$ により求めた [6]。

E：静弾性係数(kgf/cm²) S1：最大荷重の1/3に相当する圧縮応力(kgf/cm²) S2：圧縮ひずみ 50×10^{-6} のときの圧縮応力(kgf/cm²) ε ：圧縮応力S1によって生ずる圧縮ひずみ

供試コンクリートは、 $\phi 10 \times 20$ cmと小さいが、加水の影響を観察する方法として、載荷軸方向(y方向)のひずみ度(ε_y)及び円周方向(x方向)のひずみ度(ε_x)を測定長さ30mmのワイヤストレングージ(以下：W.S.G.)を用いて[7]、図-4に示す方法により、1-1'~4-4'の対向した2点ずつの平均を測定した。また、 ε_x 及び ε_y の測定値を用いて、ポアソン比($\nu = \varepsilon_x / \varepsilon_y$)も求めた。

4. 試験結果及び考察

1) 重量変化率及び超音波伝播速度変化率について

図-5、6には、加水量を変えたコンクリートの乾燥養生材令と重量変化率及び超音波伝播速度変化率の関係を、水セメント比55%の場合を例として示した。

重量は、加水量に関係なく、通常のコンクリートの場合と同様に、乾燥養生材令の経過とともに減少し、一定値に漸近するようである。

しかしながら、その重量変化率は、加水量0 mmの場合のそれよりもおよそ0.5%大きく6 mmが最大となる。この場合、材令7日ごろまでの減少は急激で、母材コンクリートの水セメント比に関係なく、材令91日の大略7割、脱型時の3~3.5%前後減少するが、その後は緩慢になる。

超音波伝播速度変化率は、加水量の有無に関係なく、乾燥養生材令の増加に伴い急激に上昇し、材令14日で最大を示すが、以後は、緩慢に減少する。この場合、初期段階である材令7日までの増加が急激で、加水の有無に関係なく、最大変化率の大略8割を占めるが、材令91日では、それ以下の変化率となる。

2) 変形状について

図-7には、コンプレッソメータを用いた荷重~ひずみ度曲線の一例を、水セメント比55%、材令28日の場合について示した。

この図から明らかなように、荷重~ひずみ度曲線は、標準養生と乾燥養生を比較した場

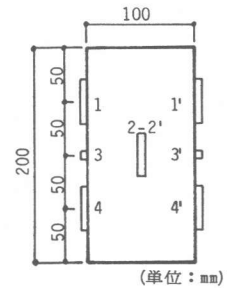


図-4 ひずみゲージの位置

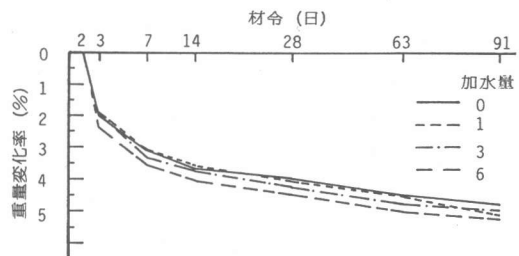


図-5 材令と重量変化率 (W/C=55%)

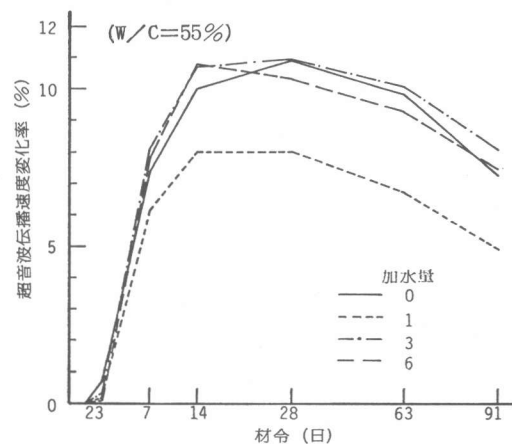


図-6 材令と超音波伝播速度変化率

合、後者の方が、曲線の立上がりの勾配は緩やかで同一材令におけるひずみ量も多いが、両者とも 500×10^{-6} 前後まで、荷重に比例してほぼ直線的に上昇する。しかし、その後は、養生、加水量、母材コンクリートの違いが大きく影響するようである。

ひずみ度は、乾燥養生の場合、加水量の多いほど荷重初期の段階から傾きが大きく、曲線的で 2000×10^{-6} 前後で最大となる。標準養生の場合、加水量の影響は殆ど見られず、ほぼ直線的な変形に近づき、最大荷重の少し手前で急激に進み 1500×10^{-6} で、ぜい性的な破壊を示した。

図-8には、W.S.G.を用いた場合の荷重 (p) とひずみ度 (ϵ) およびポアソン比 (ν) の関係を、母材コンクリートの水セメント比55%、材令28日、加水量6mmの場合を一例として示した。表-3には、静弾性係数とポアソン比を示した。

この図から明らかなように、ひずみは、測定長さ30mmの短いW.S.G.を使用しているためと1層目の高さによって、2-2'でもコンプレッソメータとは僅かに異なった性状を示す。しかし、加水の影響を観察する程度なら、それほど問題にならないものと考えられる [7]。

円周方向 (3-3') のひずみは、養生方法、材令に関係なく、立上がりの勾配は急激で、その最大値は、母材コンクリートの水セメント比によっても異なるが、大略 500×10^{-6} 以下を示した。

載荷軸方向では、乾燥養生の場合、荷重初期の段階から1-1'、2-2'および4-4'とも曲線的になる。同一の荷重に対しては、上層1-1'、打ち足し部2-2'、下層4-4'の順でひずみ量が大きくなるのは標準養生も同様である。また、加水量0mmでは、2-2'と4-4'のひずみがほぼ一致するが、前者は、加水量が増すごとに傾きが荷重初期の段階から曲線となり、1-1'に近づくようになる。しかし、標準養生の場合、加水量が増しても0mmのひずみ曲線とあまり変わらない。

ポアソン比は、材令28日の場合、加水量、母材コンクリート、養生方法に関係なく、通常のコンクリートと同様の0.1~0.3程度が得られた。各層の値は、上層で0.1前後、下層で0.2~0.3、加水層の部分では、両者の中間を示すが、加水量が多くなると上層に近づくようになる。静弾性係数は、加水量、養生方法等の影響を受けるが $1.6 \sim 3.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ を示した。

このように、荷重~ひずみ度曲線は、

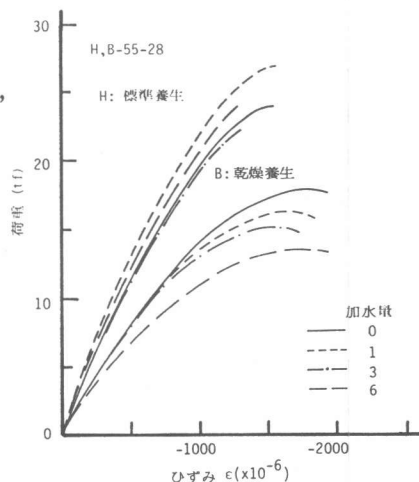


図-7 荷重~ひずみ度 (W/C=55%、材令28日)

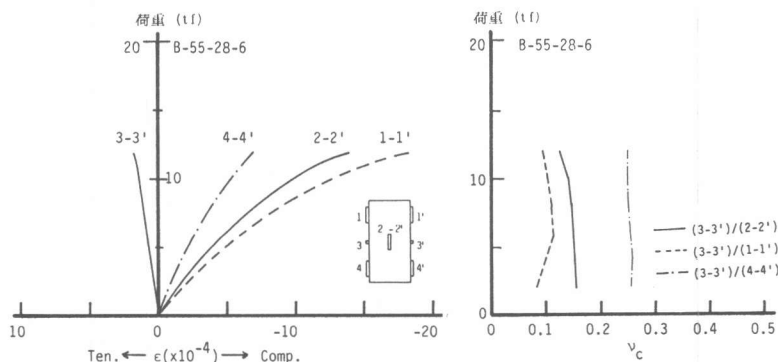


図-8 荷重とひずみ度及びポアソン比 (乾燥養生) (W/C=55%、材令28日、加水量6mm)

コンクリートの各層で特徴的な変化を示すことが確かめられた。このことは、乾燥養生した場合、局部的な加水の影響は大きい、標準養生を行なうと小さくなることを現わしている。

3) 加水量と圧縮強度

図-9に、乾燥養生した加水量と圧縮強度の関係を、水セメント比65%を一例として示した。

この図から明らかなように、圧縮強度は、材令、母材コンクリートなどの要因に大きく支配されるが、両者の関係は、図の普通目盛りで直線となり、これらの直線は、試験材令によってほぼ平行となる。これにより、加水量が多くなるに従い、圧縮強度は低下するが、この傾向は、乾燥養生期間と母材コンクリートによって異なることを示している。

これらの直線式を求めると、本研究の範囲では、次のような一般式で圧縮強度の算定式を導くことが可能となる。その時の相関係数は、試験材令、母材コンクリートに関係なく0.9以上を示した。また、直線の傾き(係数b)は、母材コンクリートの水セメント比が小さいと大きくなるが、切片(係数a)は、ほぼ一定を示した。

$$\sigma_c = a - b x$$

σ_c : 所定材令における圧縮強度 (kgf/cm²) x : 加水量(mm) a, b : 実験定数

したがって、加水についての資料を蓄積することによって、打ち込み施工時に降雨を受けたコンクリートの圧縮強度の予測を行なうことも可能になると考えられる。

図-10に、乾燥養生した、水セメント比45、55及び65%の加水量セメント水比と圧縮強度の関係を示した。加水量セメント水比は、母材コンクリートが十分均質に練り混ぜられたものとして、型わく一本当たりに含まれる理論的な練り混ぜ水(w)に加水量(W')を足し、それとセメント(c)の重量比である。

この図から明かなように、加水したコンクリートであっても、通常のコンクリートと同様に、セメント水比説が成り立つものといえる。本研究の範囲では、次のような一般式で圧縮強度の算定式を導くことが可能となる。その時の相関係数は、試験材令、母材コンクリートの水セメント比に関係なく0.9以上を示した。

$$\sigma_c = -a + b (c / w + W')$$

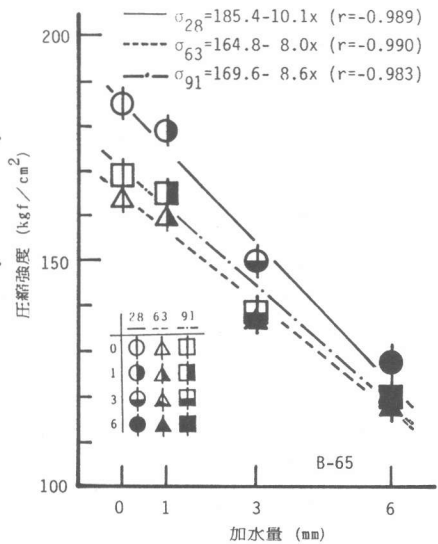


図-9 加水量と圧縮強度 (W/C=65%)

表-3 静弾性係数とポアソン比

材令 (日)	養生	加水量 (mm)	45				55				65			
			E	ν	上	下	E	ν	上	下	E	ν	上	下
28	標準	0	3.08	0.21	0.15	0.24	3.12	0.22	-	-	2.60	0.18	0.18	0.24
		1	3.40	0.23	-	-	2.88	0.21	-	-	2.77	0.20	0.18	0.23
		3	3.00	0.19	-	-	2.96	0.18	-	-	2.52	0.16	-	-
		6	3.18	0.25	-	-	3.02	0.20	-	-	2.62	0.22	-	-
	乾燥	0	2.64	0.30	0.10	0.34	2.38	0.24	0.11	0.25	2.06	0.20	0.05	0.17
		1	2.48	0.17	0.12	0.20	2.22	0.22	0.14	0.24	1.84	0.10	0.07	0.14
		3	2.68	0.28	-	-	2.18	0.22	0.13	0.31	1.69	0.13	-	-
		6	2.92	0.25	-	-	1.64	0.15	0.10	0.26	1.82	0.23	-	-

E: コンプレッソメータによる静弾性係数 (*10⁵kgf/cm²) 45,55,65: 水セメント比 (%)
 ν : ポアソン比(3-3')/(2-2') 上: (3-3')/(1-1') 下: (3-3')/(4-4')

σ_c : 圧縮強度 (kgf/cm²) c : 型わく一本当たりの理論的なセメント量 (gf/cc)

w : 型わく一本当たりの理論的な練り混ぜ水量 (gf/cc) w' : 型わく一本当たりの加水量 (gf/cc) a, b : 実験定数

ちなみに、本研究の範囲をまとめると、水セメント比55%を境に傾向は異なるが、相関係数 $r=0.97$ で下式のようなになる。

$$\sigma_c = -242.9 + 266.1 (c/w + w')$$

5. 結論

施工中の降雨を想定し、加水したコンクリートの実験結果を要約すると次のようである。

1) 重量は、乾燥養生材令の経過とともに増加する。その変化率は、材令7日ごろまで急激で、材令91日のおよそ70%を示し、加水量0mmの場合よりも6mmの方が0.5%前後大きくなる。

超音波伝播速度は、乾燥養生材令の経過とともに増加し、材令14日でほぼ最大となるが、材令7日までの上昇が急激で、最大変化率の大略80%を占め、材令91日では、それ以下となる。

2) ひずみ度は、養生方法によって傾向は異なるが、 500×10^{-6} 前後まではほぼ直線的に上昇する。最大ひずみ度は、乾燥養生すると加水量が多いほど早い時期から曲線的で、大略 2000×10^{-6} 前後を示す。標準養生では、 1500×10^{-6} 前後となるが、加水量の影響はほぼ消失する。

加水したコンクリート各層のひずみ度は、乾燥養生すると荷重初期の段階から曲線的になり、同一荷重に対しては、上、中間および下層の順で大きくなる。また、加水量が増すにつれて、中間層が上層に近づき、載荷初期から曲線的となる。静弾性係数、ポアソン比は、それぞれ $1.6 \sim 3.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $0.1 \sim 0.3$ を示した。

3) 加水量と圧縮強度は、普通目盛りで直線となる。この直線の傾き(係数 b)は、母材コンクリートの水セメント比が小さいと大きくなるが、切片(係数 a)は、ほぼ一定し、加水したコンクリートの圧縮強度を予測することが可能である。

加水したコンクリートは、普通のコンクリートと同様にセメント水比説が成り立つことから、資料を蓄積することによって降雨を受けたコンクリートの評価も可能になるものと考えられる。

《参考並びに引用文献》

- 1) 土木学会：昭和61年制定 コンクリート標準養生示方書，ダム編，pp.41-42,1987.6
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説，JASS 5，pp.176-178,1986.11
- 3) 長島 弘：生コン工場における特殊コンクリートのつくり方-寒中・暑中コンクリート-，セメント・コンクリート，No.343,pp.60-67,Sept.1975
- 4) 山田順治：降雨中のコンクリートの施工，セメント・コンクリート，No.273,pp.13,1970.3
- 5) 東京天文台編纂：理科年表 気象部(昭和63年)，丸善,pp191-279,1987.11
- 6) 鈴木計夫：コンクリートの静弾性係数試験方法(案)，コンクリート工学，Vol.23, No.3, pp.12-16, March 1985
- 7) 既出6)，pp.13-14

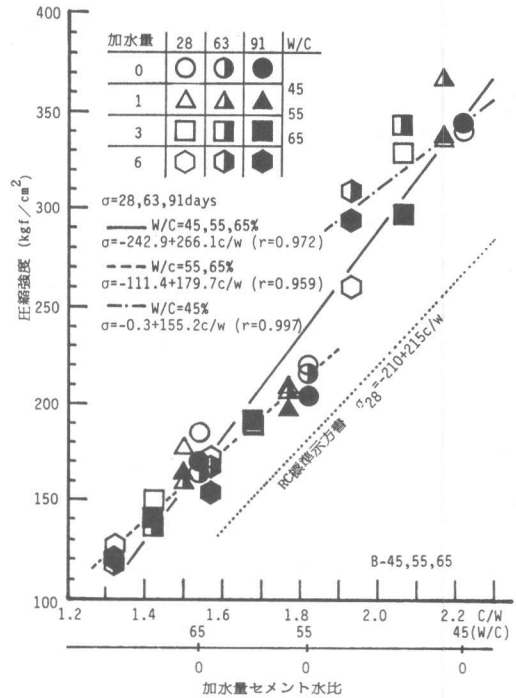


図-10 加水量セメント水比と圧縮強度