

[75] コンクリートの品質管理への調合量測定方法の適用

正会員 大岸佐吉（名古屋工業大学工学部）

正会員 ○棚橋 勇（名古屋工業大学工学部）

正会員 小野博宣（中部大学工学部）

水谷且哉（小原建設（株）工務部）

1. 序

コンクリートを用いる構造物の信頼性と耐久性を向上し今後の発展を考えると、時代の要請に応える高品質で安価なコンクリートを生産し提供するためには、「(1) レデーミクストコンクリート工場では、骨材の受入検査（特に骨材に含まれる0.074mmを通過する微粒分含有量と石質）や、骨材の粒径、含水量及び回収水に含まれるスラッジ量の変動を確認し、それらを考慮した調合の均一な管理を行う。(2) 施工業者は、材料分離のできるだけ少ない均等質なコンクリートを確保するための知識の向上や適切な施工計画の立案・施工技術の改善に努める。(3) 工事監理者は、品質を主体とした管理方法の確立と、種々な条件下において発生するコンクリートの品質に及ぼす諸要因を量的に把握すると共に諸性質への影響を総合的に検討し、品質の早期判定をする。」ことを適切に行うことが必要である。

本研究は、コンクリート工事に使用されるAEコンクリートの荷下し地点、ポンプの筒先及び型枠内の上、下二層において、JISA5308に順ずる検査に加えて単位容積質量と「調合量測定装置」を使用して調合量を測定した。それらの結果と計画調合との関係を調べ、その変動の発生機構や影響因子を系統的かつ定量的に究明し、管理に反映させると共に、構造体としての安全性や耐久性の早期品質判定を行ったものである。

2. 実験方法

2.1 本実験で対象とした工事概要

構造・規模：鉄筋コンクリート造5階建 建築面積：3,980 m² 延床面積：11,310 m²

コンクリート量：8,800 m³ 工期：昭和58年4月1日～昭和59年3月10日

2.2 コンクリート納入時の品質判定

コンクリート納入時の可否を荷下し地点(A)において以下に示す項目について測定を行い判定した。

測定項目・測定回数：測定項目はスランブS1、空気量A(圧力法)、空気量を測定した試料の単位容積質量 U_{w1} 、調合量 M_m 、ブリージング量(ブリージング率BR)、圧縮強度 σ_c 、引張強度 σ_t (材令28日)の7項目である。測定回数はスランブ、空気量、単位容積質量は50m³に1回、調合量及びブリージング量は600m³に1回とした。

可否の判定規準：スランブ、空気量はJISの規定に準じた。基準空気量に補正した単位容積質量(以下 U_{w2} と呼ぶ)は、生コン工場の秤の精度等から $\pm 1.5\%$ 以内とした。硬化後の強度判定は、調合量測定結果より水セメント比を求め、試験練り結果から得た c/w 曲線を用いて行った。これらの判定基準を外れ不合格となったものやスランブ後の試料の形状が不規則で分離の著しいものについては適宜調合量の測定を行った。

使用材料及び調合：コンクリートの調合を表-1に、使用材料の物理的性質を表外(以下、表中・外の値を基準値と呼ぶ)に、試験時の気温を図-7中に示した。

2.3 施工過程における品質の変動

コンクリートに流動と変形を与えたときの打込み直前の性能低下とコンクリートの均質性を調べるため、荷下しを開始してから約2分後のホースの筒先(B)、及び型枠(壁)内に打込み後10分経過した上部(C₁)、下部(C₂)の二層から試料を採取し、スラン

表-1 コンクリートの調合表

最大粒径 r (mm)	スランブ S1 (cm)	空気量 A (%)	水セメント比 w/c (%)	粗骨材率 S/a (%)	単位質量 (kg/m ³)				
					粗骨材 水 W	セメント C	粗骨材 S	粗骨材 G	水和剤 AE
25	18	4	59	44	181	307	774	1001	0.766

※1 地下水
 ※2 普通ポルトランドセメント(比重3.16)
 ※3 粗骨材(木曽川砂と瀬戸山砂の混合、最大寸法5mm、表乾比重2.58、吸水率1.38%、FM2.80、洗い試験による損失1.6%)
 ※4 粗骨材(瀬戸山砂利、最大寸法25mm、表乾比重2.62、吸水率0.9%、FM6.83、洗い試験による損失0.3%)
 ※5 AE減水剤

プ、空気量、単位容積質量、ブリージング量及び調合量を測定した。

コンクリートの打込み・締め固め方法：コンクリートの運搬距離は約8km、混練終了から打設までの所要時間は60分以内とした。打設はブーム付コンクリートポンプ車（ピストン式、平均吐出量60～70m³/hr）を用い、1回の打設数量は500m³以下とした。充填・締め固めは棒状高周波バイブレーター2台による振動詰めと木製ハンマーによるタンピング方法を併用して行った。

3. 実験結果と考察

3.1 納入時の品質

輸送過程の材料分離：現場に到着したトラックアジテーターの荷下し時における荷の1/4(前), 1/2(中), 3/4(後)の所から個々に試料を採取し、スランプ、空気量、単位容積質量と調合量を測定した。結果から、荷下し前に高速回転を行ったものの前、後のスランプ及び空気量の差はそれぞれ0～1cm、0～0.5%の範囲内にあり、調合量の変動は顕著に表われなかった。高速回転を行わなかったものの前のスランプは、後に比べ2～3cm大きくなった。その調合量を測定した結果、単位粗骨材量が非常に少なくなり水セメント比が10%程大きくなっていることが確認された。従って、以後荷下し直前に10秒間高速回転を行い、荷の1/4の所で試料を採取した。

スランプと単位容積質量：荷下し地点(A)において受入検査を行った結果から実測スランプとU_{w2}の関係を図-1に示した。図から明らかなように、U_{w2}はスランプが増大すると減少する傾向にあり、同一スランプに於てU_{w2}に20kg/m³の大きな差が見られる。このU_{w2}の減少に影響するものとしては、単位水量の増大に関係する計量誤差や表面水に係る誤差及び骨材の粒度組成の変動等が考えられる。

単位水量の増加率と単位容積質量：図-1に於てU_{w2}が減少する影響因子を明らかにするため、調合量測定を行ったスランプが18～19cmの範囲のものについて単位水量の基準値に対する増加率 ΔW (以下 ΔW と呼ぶ)を挙げ、U_{w2}との関係を示したのが図-2である。なお、図中の白印は各階の初めてのコンクリートの打設、黒印は2回目の打設の際に試料を採取したもの、また、×印はU_{w2}が不合格となったものである。結果から、 ΔW が大きくなるとU_{w2}が直線的に減少する傾向が認められ、U_{w2}は単位水量の変動によって顕著な影響を受けることが判った。また、U_{w2}の許容範囲 $\pm 1.5\%$ の ΔW は10%以内であり、不合格のものはそれ以上であった。

スランプと単位水量の増加率：スランプと ΔW の関係を図-3に示した。結果から、スランプはいずれも許容範囲内であるが、単位水量には変動がみられる。この中で、スランプが許容範囲内であっても、その形状が悪くフローの大きいコンクリートの ΔW は12%以上と大きな値を示した。

骨材の粗粒率と単位水量の増加率：図-3に示した試料について、骨材の粒度組成の変動を調べるため、調合量測定装置により分離抽出した細・粗骨材のふるい分析を行った。これらの結果の一例を基準値に対する比

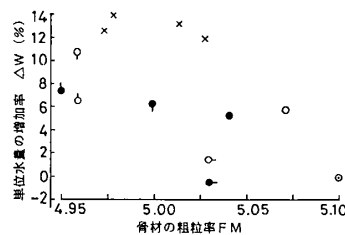


図-5 骨材の粗粒率と単位水量の増加率の関係

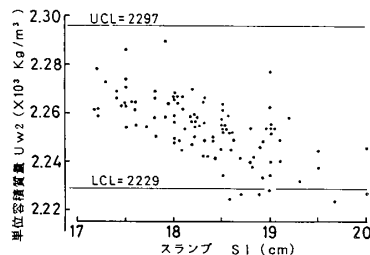


図-1 スランプと単位容積質量の関係

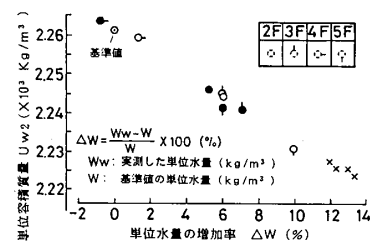


図-2 単位水量の増加率と単位容積質量の関係

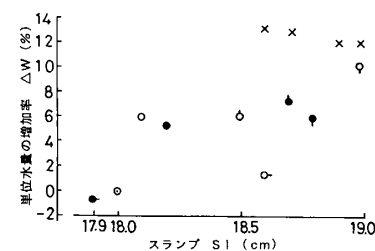


図-3 スランプと単位水量の増加率の関係

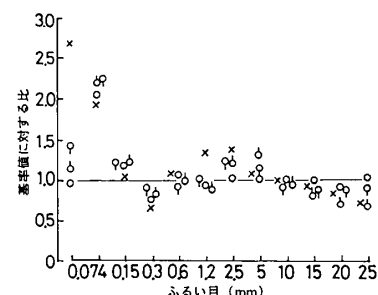


図-4 粒度分布の変動

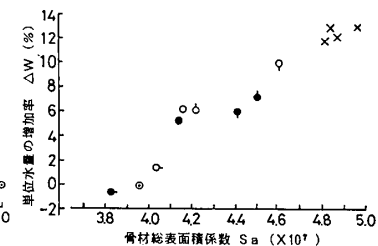


図-6 骨材総表面積係数と単位水量の増加率の関係

で示したのが図-4である。結果から、粗骨材は粗粒なものが少くなり、その反面細粒なものが多くなっている。また、細骨材に於ては0.15mm以下の微粒分が多く含まれていることが認められた。このふり分析の結果から粗粒率FMを求め、 ΔW との関係を示したのが図-5である。結果から、 ΔW が増加すると粗粒率は小さくなる傾向となっているが、同一粗粒率においても0.15mm以下の微粒分含有量が異なると ΔW に大きな差が認められる。

骨材総表面積係数と単位水量の増加率： 骨材の粒度組成、細骨材率、骨材量の変動を総体的に表すものとして

骨材のふり分析結果から表面積係数を求め、コンクリート1m³中に含まれる骨材の総表面積係数（以下Saと呼ぶ）を算出し、 ΔW との関係を示したのが図-6である。結果から、Saの増加に伴い単位水量は直線的に増加している。骨材総表面積係数が大きくなるのは、骨材に細かい粒子のもの、とりわけ0.074mm以下の微粒分が多く含まれたためである。Saの大きい骨材を使用した場合、コンクリートスランプを同一にするためには過度な単位水量を必要とし、水セメント比が増大する。その結果、ブリージング水量の増大と容積変化に伴う沈みきれつ、材料分離、硬化後のひびわれ及び後に述べる強度低下を招く原因となる。従って、良好な品質のコンクリートを得るためには、Saを一定に保つように生コン工場における骨材などの品質検査回数を増やすことが重要である。次に、本実験で得られたX-管理図を図-7に示した。結果から、本実験で得られた変動係数は、スランプ3.1%，空気量7.4%である。これらの変動は管理が進むに従い小さくなる傾向を示した。これは、前述のような試験結果の検討から、品質の変動に及ぼす要因を定量的に明らかにし、管理に反映したためである。なお、調合量測定結果から得られたセメント水比を、c/w曲線（ $Y = -170 + 256X$ ）に代入し強度の推定を行った。本実験で用いたコンクリートは全て呼び強度以上であった。

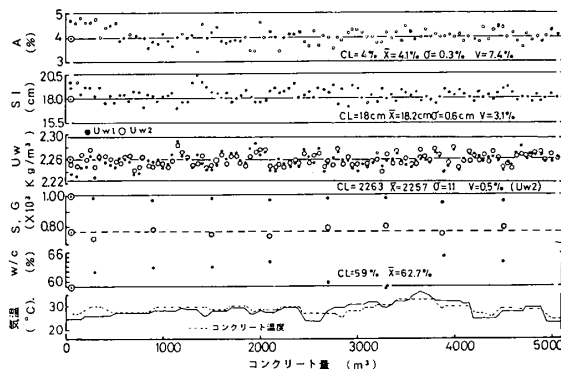


図-7 X-管理図

3.2 施工過程における品質の変動

試料採取位置における性能、品質： 各位置において採取した試料のスランプ、空気量、調合量、ブリージング率を測定した結果を図-8に示した。結果から、各位置の水セメント比、細・粗骨材量の変動は小さかった。また打込み直前の空気量、スランプはそれぞれ3～4%，17～18.5cmの範囲であり、荷下し時の結果に比べ大きな性能低下は認められなかった。しかし、空気量に関しては、施工過程において流動と変形を与えた影響が顕著に表れ、壁の下層部において、荷下し時の空気量に対してほぼ半減することが判った。これらの結果は、いずれの階においても同様の傾向を示した。

打込み高さの影響： コンクリートの打込み高さが空気量、スランプ及び調合量に及ぼす影響を、試料採取位置（B）の値に対して示したのが図-9である。

結果から、上、下層における調合量の変動は、それ程顕著ではなく、材料分離の少ない均質なコンクリートが打設されたことが判る。これは、打設されたコンクリートの粘性が流動と変形を与えたときの外的要因と「組成材料の比重の違いに起因する材料分離」²⁾に対する抵抗性を有する範囲であったこと、コンクリートの打設・充填に際し、十分な施工管理が行われたためと考えられる。なお、スラブの打設においては、コンクリートの盛り上げを制限し、バイブレーターなどを用い十分に締め固め充填を行った後、直ちに均しコテ押えを行ったが、遊離水は少なく床面の沈み（水準機で測定）と沈みきれつは認められなかった。このような結果は調合量測定結果の生コン工場管理への反映、即

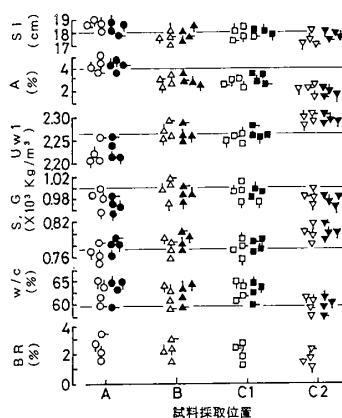


図-8 試料採取位置の影響

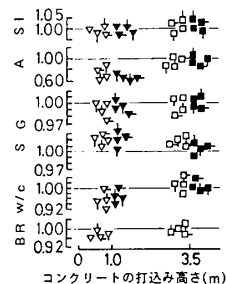


図-9 コンクリートの打込み高さの影響

ち山砂の微粒分含有量の確認，骨材粒度分布および表面水の変動に関する品質管理の徹底を促すことにより，所要スランプを得るための単位水量を基準値に極力近づけるよう努力したためである。

3.3 硬化後コンクリートの性質

コンクリートの力学的性質： 各位置において採取したコンクリートの圧縮強度，引張強度及び静弾性係数を図-10に示した。結果から，圧縮強度は試料採取位置による顕著な差は見られないが，打設日が異なると全体的に差を示している。静弾性係数は $2.3 \sim 2.8 \times 10^4$ の範囲で各階共に試料採取位置による顕著な差は認められない。引張強度は圧縮強度と同じ分布傾向を示した。

次に，型枠内に打込まれたコンクリートの高さ方向の強度の変動をとらえるため，壁の上，下二層について荷下し地点（A）の値に対する相対強度（圧縮・引張）を示したのが図-11である。結果から，圧縮・引張共に下層部が増加し上層部が若干減少する傾向を示している。これは，コンクリートの流動性が良好であったため，前述の材料分離現象による強度への影響が小さく水セメント比及び空気量の減少が主たる要因となったものと考えられる。

水セメント比の変動と圧縮強度： 図-2の試料に

ついて水セメント比の変動と圧縮強度の関係を示したのが図-12である。結果から，水セメント比が大きくなると圧縮強度は直線的に減少する傾向を示している。前述の如く，微粒分特に 0.074mm 以下の含有量が増加すると，同一スランプにするためには，単位水量の増加率が極めて大きくなり，その結果，水セメント比が増大し強度低下をもたらす。また，調合量測定結果の水セメント比から推定した強度と圧縮強度の関係は，推定強度に対して圧縮強度は若干大きくなる傾向を示したが，両者の間には相関性が得られた。

打設コンクリートの粗骨材の分布状況及びひびわれ調査結果： 打設コンクリート中の粗骨材の分布と調合量測定結果の粗骨材の変動程度との関係を検討するため，あらかじめ壁の表面の一部（幅 30cm ，高さ 3m ，厚さ 3cm ）を増打した部分を2ヶ月後に斬り，粗骨材の分布状況を調べた。その結果は，粗骨材はほぼ均一に分布しており，調合量測定による粗骨材の変動程度とほぼ同様であることが判った。また，打設後8ヶ月経過した時点でのひびわれの発生を調査した結果，腰壁部分のひびわれ誘発目地以外のヶ所においては認められなかった。

4. 結論

1) 基準空気量に補正した単位容積質量は，スランプが増大すると減少する傾向にあり，同一スランプにおいて大きな差を生ずることが判った。単位容積質量は単位水量が増加すると直線的に減少する。（図-2参照）コンクリートの品質を考慮する上では，単位水量の増加率を基準値に対して10%以内，すなわち単位容積質量の減少を1.5%以内とすることが重要である。

2) 単位水量の増加率は，骨材の総表面積係数の増加に比例して増大する。骨材が細かい粒子に偏ったり，微粒分を多く含むと所要スランプを得るために過度な単位水量を必要とする。この単位水量の増大は施工性，均質性，ひびわれ及び硬化後の強度などに大きな影響を与えるため，多種類の骨材，山砂，回収水を使用する生コンクリート工場では，特にこの点に留意した管理を短い間隔で行うことが肝要である。

3) 型枠（壁）内に打込まれたコンクリートの空気量は，荷下し地点の値に対してほぼ半減することが判った。

4) 本研究で行った「調合量測定方法」を加えたコンクリートの品質管理方法は，コンクリートの混練後から打設終了に至る過程において生ずる性能低下や品質の変動の発生機構や影響因子を，系統的かつ定量的に究明することができ，総合的な観点に立ったコンクリートの早期品質管理に十分適用できるものである。

〔参考文献〕1) 大岸・棚橋他：コンクリート工学年次講演論文集 Vol. 5 1983年6月，p.65～68

2) 大岸・棚橋他：日本建築学会大会学術講演梗概集 1983年9月，p.267～268

3) 大岸・棚橋他：日本建築学会東海支部研究報告 1984年2月，p.29～32

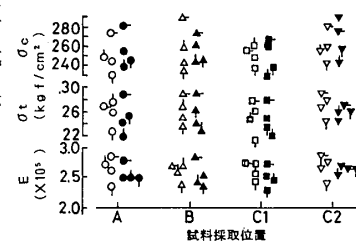


図-10 試料採取位置と力学的性質

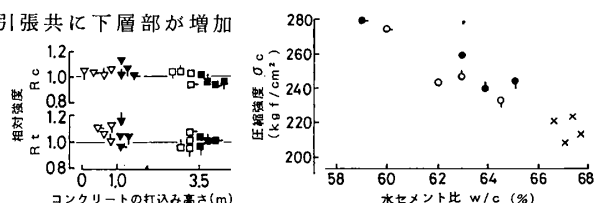


図-11 打込み高さ相対強度の関係

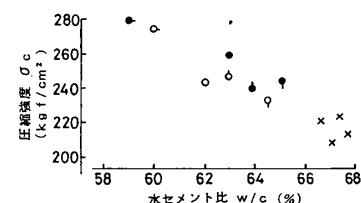


図-12 水セメント比の変動と圧縮強度の関係