

原子力発電所建設工事におけるコンクリートの品質管理（その2）

——コンクリート強度に影響を及ぼす要因の分析——

高橋 久雄
大池 武

Quality Control of Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 2)

——Analysis of Factors Influencing Concrete Strength——

Hisao Takahashi
Takeshi Oike

Abstract

This report describes the effects of factors influencing Strength-developing characteristics of concrete seen in experience in nuclear power plant construction. Upon stastical analysis, the authors came the the conclusion that among the factors such as variations of water-cement ratio, concrete temperature, cement cotent, slump value, and air content, variations in slump value and concrete temperature seem to have the major effects on variation of concrete strength in routine work using the same mix proportions.

概 要

本報告は、原子力発電所建設工事の際に実施したコンクリートの品質管理結果をもとに、同一計画調合により打込まれたコンクリートの4週圧縮強度に影響を及ぼす要因（ここでは、水セメント比・コンクリート温度・セメント量・スランプ・空気量の5要因）の主効果を統計的手法を用いて調べたものである。その結果、ここで取上げた5要因の中で、スランプとコンクリート温度の2要因が他の要因より比較的大きくコンクリート強度に影響を及ぼしていることが判明した。

1. まえがき

一般の生コン工場では多品種のコンクリートを製造し、各現場に供給しているが、原子力発電所新築工事では工事現場内に JIS A 5308 に規定する設備と同等のバッチャープラントを設置し、同一品種のコンクリートを連続製造して運搬・打込むのが特徴である。本解析に使用したデータは、前報告¹⁾で某原子力発電所新設工事で行なった品質管理として報告したのと同じものである。これらのデータのうち同一計画調合により製造され打込まれたコンクリートの4週圧縮強度、諸試験結果および計量印字記録を選び出し、コンクリートの強度に影響を及ぼす要因の主効果について調べた。

ここでは、材料の計量値を各バッチ毎に自動記録する印字記録機の機械的誤差は全くないものと仮定してデータの整理を行なっている。また、コンクリートの圧縮強度は標準水中養生による試験結果である。

なお、某原子力発電所新設工事に際して行なわれた品

質管理結果については前報告¹⁾を参照されたい。

2. 標本の抽出

この原子力発電所工事において使用されたバッチャープラントは、パンチカード式全自動バッチャープラントであるので、コンクリートの計画調合がパンチされ、これにもとづき自動計量された各材料がミキサーに投入されコンクリートが製造される。この際に、自動計量した各材料の計量値がバッチ毎にコードバンタイプの記録装置により印字記録される。

コンクリートの抜取り試験は約 80~100 m³ 毎に行なわれたが、抜取ったコンクリートの性質と印字記録された計量値を対応させ骨材の表面水、実測した空気量を考慮して計画調合を修正し、実施調合とした。この1例を表-1に示した。

このように整理した抜取り試験結果から表-2に示す調合に該当するコンクリートから採取られた供試体の試験結果を標本として全数抽出した。また、標本はコンク

\bar{x}_1, \bar{x}_2 : 標本の平均値, n_1, n_2 : 標本の大きさ

v : 母標準偏差の推定値

S_1, S_2, S : 変動, ϕ_1, ϕ_2, ϕ : 自由度

V_1, V_2, V : 不偏分散

これらの検定結果を表一6に示す。これによると層間における同一性はほとんどみられなかった。

4.2. 回帰係数の一様性の検定

これは1~5の層において、それぞれ層の内では直線関係を仮定して、たとえば、 x_0 と x_j が測定された場合、各層内での変数 x_0 に対し、 x_1 の変化の傾向に層間の差異があるかどうかを検定したものである。

即ち、

各層の層内回帰変動 S_{Re}

$$S_{Rei} = S_i^2(x_j x_0) / S_i(x_j)$$

各層の層内残差変動 S_E

$$S_{Ei} = S_i(x_0^2) - S_{Rei}$$

ただし、

層内残差変動の和 S_{EW}

$$S_{EW} = \sum S_{Ei}$$

こみにした層内変動 S_W

$$S_W(x_j^2) = \sum S_i(x_j^2), S_W(x_0^2) = \sum S_i(x_0^2)$$

$$S_W(x_j \cdot x_0) = \sum S_i(x_j \cdot x_0)$$

こみにした層内回帰変動 S_{Re}

$$S_{Re} = S_W^2(x_j \cdot x_0) / S_W(x_j^2)$$

これによる分散分析は表一7による。

以上より S_{Re}, S_E を計算し分散分析した結果を表一8に示した。これにより、各層内で各要因の変化に対して圧縮強度の変化は層間に差異が認められた。即ち、コンクリートの繰り上り温度によって回帰の関係が層によって異なることを示している。

4.3. 重回帰分析

今まで各層毎の従属変数 (x_0) とそれぞれの独立変数 (x_j) との関連性を求めた。ここでは独立変数が一つだけではなく、数箇の独立変数と強度との関係を調べるために重回帰分析を行なった。

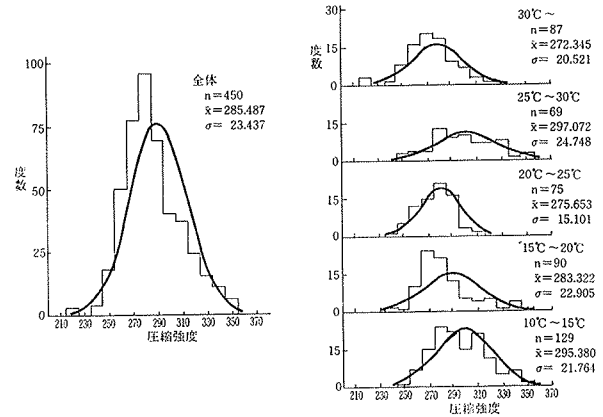
今回の場合は要因（独立変数）が5個であるので求める重回帰式は、

$$x_0 = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + e$$

となる。

重回帰分析により求めた第1層から第5層および全体の回帰係数と重相関係数を表一9に示した。

推定された重回帰式に含まれる回帰係数に誤差が含まれているので、誤差の評価を行ない、重回帰式のあてはめが妥当であるかどうかを検討する。そのため、 x_0 の総変動を回帰による変動と回帰からの変動に分解し、回帰による変動が回帰からの変動にくらべて有意に大きいのか



図一1 ヒストグラムおよび正規分布曲線

層間	1・2	1・3	1・4	1・5	2・3	2・4	2・5	3・4	3・5	4・5
平均値	3.948	6.936	0.146	2.645	2.483	3.622	3.354	6.326	1.153	6.821
の差										
の検定	判定	×	×	○	×	×	×	×	○	×
公散比	$F_0 = V_1/V_2$	0.903	2.077	0.773	1.125	2.301	0.857	1.246	0.378	0.542
の検定	$F'_0(0.025)$	1.433	1.508	1.508	1.433	1.581	1.599	1.433	1.599	1.530
判定	判定	○	×	○	○	×	○	○	○	○
同一性の判定	判定	×	×	○あり	×	×	×	×	○あり	×

表一6 同一性の検定結果

SV	SS	df	V	F_0
こみにした級内残差	SE	n-k-1		
各級の級内残差の和	SEW	n-2k	SEW/(n-2k)	
級間の回帰の差	SE-SEW	k-1	(SE-SEW)/(K-1)	$F_0 = \frac{(SE-SEW)/(K-1)}{SEW/(n-2K)}$

$F_0 \geq F_{1-k}(\alpha)$ ならば有意差ありと判定する。

表一7 分散分析表

	S.S	t	V	F_0
$x_0 \cdot x_1$	SE	239512.226	444	
	SEW	195264.494	440	443.783
	SE-SEW	44247.732	4	11061.933
$x_0 \cdot x_2$	SE	232315.015	444	
	SEW	192507.311	440	437.517
	SE-SEW	39807.704	4	9951.926
$x_0 \cdot x_3$	SE	235555.127	444	
	SEW	192436.936	440	437.357
	SE-SEW	43118.191	4	10779.548
$x_0 \cdot x_4$	SE	199107.392	444	
	SEW	173352.933	440	393.984
	SE-SEW	25754.459	4	64 38.615
$x_0 \cdot x_5$	SE	241596.578	444	
	SEW	186864.462	440	424.692
	SE-SEW	54732.116	4	13683.029

$F'_{1,0}(0.005) = 3.72$ **は危険率0.5%有意

表一8 分散分析結果

検定のために分散分析を行なった結果、第3層（20℃～25℃）を除いて、残差平方和は回帰からの変動に比べて回帰による変動が有意であり、求めた重回帰式は分析に使用した要因の範囲内で4週圧縮強度の推定予測式となりうる。しかし、比較的コンクリート強度に影響を及ぼしていると考えられるコンクリート温度及びスランプの2要因でさえ、表-9の回帰係数からコンクリート強度をそれぞれ16 kg/cm²、40 kg/cm²程度変化させる可能性しかない。また、重相関係数では0.4～0.6弱程度であり、これを寄与率でみると0.16～0.36程度で、求めた重回帰式の信頼性はあまり期待できないものと考えられる。

6. むすび

今回の分析はデータの整理にあたり、印字記録機の、計器の誤差は全くないものとし、現場内に設置された生コンプラントより、一品種で大量に練られたコンクリートについて行なったものである。

その結果、分析に使用したデータの範囲で、全般的に相関性が弱い、スランプとコンクリート温度が他の要因よりコンクリート強度へ影響を及ぼしているものと考えられる。しかし、今回の分析にも次のような問題が含まれており、

- (1) 各材料の計量誤差の評価

- (2) 骨材（特に細骨材）の表面水の評価
 - (3) 1), 2)に付随する水セメント比の評価
 - (4) 初期養生条件（雰囲気温湿度）のコンクリート強度へ及ぼす影響
- などである。

(1)～(3)はデータ整理の仮定に含まれるものとスランプの変動要因であり、(4)は分析により明らかになったコンクリート温度のコンクリート強度への影響の究明である。このようなことを考慮して、表面水のバラツキ、計量のバラツキを一定の範囲の中に収め、この条件下でコンクリートの圧縮強度がコンクリート温度を温度域に区分して推定できるように、今後究明すべき課題であると考えられる。

参考文献

- 1) 高橋, 山崎, 榎本, 久保田: 原子力発電所建設工事におけるコンクリートの品質管理（その1）, 大林組技術研究所報, No. 10, (1975)
- 2) 高橋, 小林: 現場コンクリート強度の現象についての研究, セメント技術年報, No. 11, (1975)
- 3) 品質管理便覧, 日本規格協会
- 4) 「技術者のための」統計的方法, 共立出版
- 5) 統計数値表: 日本規格協会