

人工軽量骨材コンクリートの品質に関する実態調査例

高橋 久雄
永井 康淑

Some Field Investigations on Qualities of Artificial Lightweight Aggregate Concrete

Hisao Takahashi
Yasuyoshi Nagai

Abstract

High-strength lightweight concrete has been developed and has come to be applied in actual construction work. This report deals with the results of field investigations for high structural design strength of 240 kg/cm^2 . Sampling of concrete was carried out throughout the construction period and totaled 160 times during 47 days of placement. Concrete was transported at the job site by concrete pump and concrete hoist. The following results were obtained:

- (1) The required overdesign factor (k) for structural design strength must be decided as a value peculiar to the batcher plant. In this case, the authors concluded that $k = 1.125$, namely, that standard deviation was $\sigma = 40 \text{ kg/cm}^2$.
- (2) Pumping of artificial lightweight aggregate concrete must be limited to 200 m (in terms of horizontal length) for the concrete to be pumpable.

概 要

人工軽量骨材コンクリートの高強度化に関する研究が進み、実際に工事現場へ適用されることが可能となった。最近、当社の関係する都内工事現場に我国最初の適用例として設計基準強度 240 kg/cm^2 の人軽骨コンクリートが採用され、コンクリートポンプ工法によって施工を行なった。このレポートは当工事に使用したコンクリートの品質、ならびにその変動に関する調査の結果を示したものである。その結果、①設計基準強度 240 kg/cm^2 を確保するためには標準偏差を 40 kg/cm^2 見込む必要がある、②人工軽量骨材コンクリートのポンプ圧送工法は慎重に適用される必要があり、圧送長さも 200m 程度にとどめるべきである、等の結論を得た。

1. まえがき

人工軽量骨材コンクリート（以下、人軽骨コンクリートと称す）の高強度化は実験室内に於ける研究による見通しを得て、実際の建築工事に使用されるようになった。現在はまだ日本建築センターの審査を経て建設省の特認を受けた後でなければならない。しかし、実績の積重ねによって更に高強度への信頼性は高まることであろう。最近、当社の関係する都内工事現場に我国最初の適用例として設計基準強度 240 kg/cm^2 の人軽骨コンクリートが採用され、無事にコンクリート施工を終了した。コンクリートの場内輸送はコンクリートポンプ工法、およびコンクリートタワー併用ポンプ工法、の2方法によった。このレポートは当工事に

使用したコンクリートの品質、ならびにその変動に関する調査結果をまとめたものである。調査は約10カ月間にわたり、47回の抜取検査をした。抜取回数がまだまだ不十分であり、現場調査のため不備な面、また、正確を期せなかった面もあった。しかし、強度上の安全性確保、あるいは品質の保証、等を与えるに必要な種々の教訓が得られ、今後この種の工事施工に当って参考とすべき点も多いと思われる。

2. 工事の概要

当該工事の建築規模とコンクリート施工に関する概要は次の通りである。

工事場所	東京都中野区
構造規模	SRC 造、地下2階、地上21階

敷地面積 9,530m²
 建築面積 4,632m² (建ぺい率48.6%)
 延床面積 51,009m² (容積率498.4%)
 軒 高 SGL+90.59m
 コンクリートの仕様
 1F床以下 川砂利川砂, ρ=2.3
 F_C=240kg/cm²
 1F柱脚以上 人工軽量骨材, ρ=1.7
 F_C=240kg/cm²
 コンクリート施工期間 (但し, 1F 柱脚以上)
 昭和46年9月~昭和47年7月
 コンクリート打設量 (但し, 1F 柱脚以上の人軽骨
 コンクリート分)
 19,500m³
 コンクリート施工方法
 1F~8F (1FL+34.520) コンクリート
 ポンプ工法 (車載式, 垂直・水平輸送共)
 9F (1FL+38.280)~21F
 コンクリートタワー工法 (垂直)
 コンクリートポンプ工法 (定置式, 水平)
 コンクリートポンプ機種
 車載式 スクイズ式 PC-125 (5 in. 配管)
 定置式 スクイズ式 PC-100 (4 in. 配管)

3. コンクリートの実施調査

コンクリートの調査は打設箇所, あるいは時期によつて表-1に示す3種類のものを使用した。なお, 膨張コンクリート(CSA セメント)は収縮を補償するために, 1F柱脚~4F柱頭間の全量, ならびに 5F外壁~21F 外壁に対して使用された。

4. コンクリートの品質試験方法

コンクリートの場内輸送にはその一部, あるいは全体にポンプ圧送工法を利用したが, 生コン工場から搬入された人軽骨コンクリートがどのような性状を示し

ながら打設地点へ運搬され, 打設されたかを調べるため各種の試験を行なった。

その要点は次のようなものである。

(i) 試料採取は各階とも2日以上行なうこととし, 特に工程前半の9F 迄は毎日 (全打設日) 行なつた。

サンプリング日数 47日
 地上階コンクリート量 19,500m³ (100%)
 試験対称コンクリート量 12,700m³ (65%)

(ii) 試料のサンプリングは生コン工場, 現場搬入時 (圧送前), 打設地点 (圧送後) の3地点で行なつた。

生コン工場 69回 (185m³/回)
 現場搬入時 150回 (85m³/回)
 打設地点 165回 (77m³/回)

(iii) 品質試験は主にワーカビリチ試験と圧縮試験を行なった。

ワーカビリチ試験 スランプ, フロー
 空気量, 単位容重
 コンクリート温度

圧縮試験

6本採取 { 3本 (標準) } 各1本1週破壊
 { 3本 (湿砂) } 各2本4週破壊

但し, 標準養生 20°C水中養生 (JISA1108)
 湿砂養生 戸外, 湿砂中埋込み

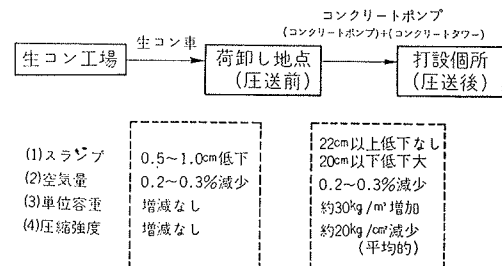
(iv) その他, 次のものについては適時試験した。

ブリージング量, 気乾比重の推移
 粗骨材吸水量 (5m/m 以上, 工場入荷時)
 9,13週圧縮試験, コアポーリング圧縮試験

5. 輸送時コンクリートの品質

前述の如く品質調査は生コン工場, 現場搬入時 (圧送前), 打設地点 (圧送後) の3地点で実施し, その結果より得られた平均値, および標準偏差は表-1に示した。これらを要約すれば下記のようになる。

調査種別	W/C (%)	S/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	セメント+フライアッシュ (kg/m ³)	川砂 (kg/m ³)	軽砂 (kg/m ³)	軽砂利 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	CSA (kg/m ³)	使用期間
I	49.0	51.3	21	4	331+37	457	303	472	180	40	46.11.9 47.7.22
II	47.7	51.5	22	4	394+0	485	288	472	188	0	46.9.9~11.29 47.4.22~7.7
III	45.2	51.1	22	4	414+0	452	301	472	187	0	46.12.1 47.4.21

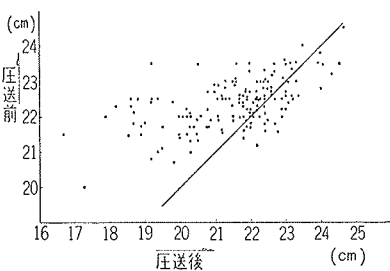


設計基準強度(F₀) 240kg/cm² 人工軽量骨材 ビルトン
 調査強度(F_C) 270kg/cm² 混和剤 ポゾリス No. 5L

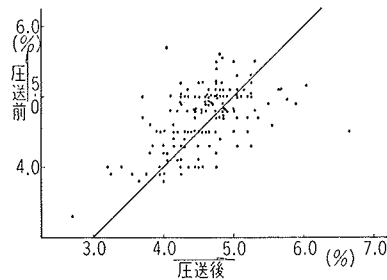
表-1 コンクリートの実施調査表

		生コン工場							現場搬入時(圧送前)							打設地点(圧送後)							
		サンプル数	総平均値	総標準偏差	回数	日間平均値	日間標準偏差	日内標準偏差	サンプル数	総平均値	総標準偏差	回数	日間平均値	日間標準偏差	日内標準偏差	サンプル数	総平均値	総標準偏差	回数	日間平均値	日間標準偏差	日内標準偏差	
圧縮強度 (kg/cm ²)	標準養生	C S A	45	325.9	23.35	7	321.8	25.00	11.40	116	315.5	31.49	21	315.4	29.65	13.63	112	307.1	32.66	21	306.6	31.40	14.40
		プレンA	54	342.0	25.65	7	341.2	15.58	17.99	106	333.0	30.61	16	336.7	29.14	19.16	121	310.5	44.34	16	316.0	41.45	23.51
		プレンB	24	361.1	37.05	7	362.6	40.23	11.84	73	342.9	38.80	16	344.3	26.21	22.69	73	320.3	44.43	16	319.7	36.32	20.96
	湿砂養生	C S A	46	287.5	24.57	8	284.3	26.05	15.58	113	289.7	28.56	21	291.1	27.17	14.29	113	280.2	25.66	21	280.5	23.05	13.77
		プレンA	68	338.2	30.83	8	334.8	22.62	19.77	120	327.3	37.56	17	328.7	35.79	17.90	150	305.3	44.37	17	309.3	45.76	20.00
		プレンB	24	330.0	32.49	7	330.9	35.89	15.61	73	324.0	30.25	16	319.5	30.22	17.27	73	302.9	41.45	16	292.0	38.50	15.18
スランプ (cm)	C S A	23	23.21	0.57	8	23.21	0.57	0.41	55	22.20	0.70	21	22.27	0.63	0.42	55	21.14	1.73	21	21.25	1.43	1.27	
	プレンA	33	23.15	0.43	8	23.19	0.26	0.33	68	22.46	0.62	17	22.33	0.47	0.54	76	21.75	1.34	17	21.45	1.02	1.33	
	プレンB	12	22.75	0.58	7	22.79	0.55	0.25	35	22.37	0.66	16	22.45	0.59	0.44	35	21.52	1.66	16	21.47	1.30	1.33	
空気量 (cm)	C S A	23	4.96	0.37	8	4.91	0.31	0.24	55	4.62	0.43	21	4.63	0.34	0.31	55	4.47	0.59	21	4.42	0.50	0.37	
	プレンA	34	4.99	0.38	8	5.01	0.21	0.29	69	4.71	0.49	17	4.65	0.46	0.25	73	4.40	0.43	16	4.35	0.24	0.34	
	プレンB	12	4.73	0.35	7	4.76	0.34	0.13	35	4.60	0.41	16	4.64	0.41	0.19	35	4.34	0.62	16	4.33	0.58	0.29	
単位容重 (kg/m ³)	C S A	23	1783.8	13.09	8	1783.9	11.03	9.13	55	1789.5	15.08	21	1789.8	12.68	8.64	55	1821.4	27.18	21	1818.9	25.90	13.61	
	プレンA	34	1802.3	11.16	8	1803.8	11.00	7.08	69	1805.4	24.33	17	1800.6	26.81	10.71	72	1835.9	26.46	16	1828.7	24.93	19.89	
	プレンB	12	1794.6	10.80	7	1794.4	9.61	6.40	35	1792.2	17.14	16	1990.7	15.65	9.87	35	1824.1	28.45	16	1827.0	26.03	14.77	

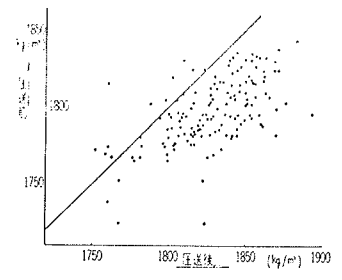
表一 各採取地点に於ける試料平均値と試料標準偏差



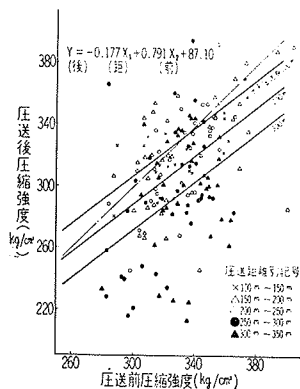
図一 圧送前後のスランプ変動



図二 圧送前後の空気量変動



図三 圧送前後の単位容重変動



図四 圧送前後の圧縮強度変動 (標準養生)

なお、上記の品質変化に対して単相関検定を行なった結果、生コン車による輸送時間(攪拌時間、35~95分)の長さ、およびコンクリートポンプによる圧送長さ(80~330m)、との関係に有意差を認められなかつた。

た。

図一~四は現場搬入時(圧送前)と打設地点(圧送後)の間に生じた品質の変化を図示したものである。

圧送前後の変化がどのような要因のもとに生じたのかは今回の調査で明らかにできなかった。これはコンクリートの品質変化が数多くの要因によって左右されると同時に、突発的に発生するある要因によって相乗されるために全体のデータを統計処理する段階ではすでに有意性を持つ要因として検出されないためではないと思われる。

図一、四に示した回帰直線は検定の結果有意性をもつものではないが、圧送前後の品質変化と圧送長さが相関関係にあることを示している。圧縮強度の変化は文献1によればコンクリートの受ける圧力状態によって変化し得ることを示しており、当調査結果と関連があると思われる¹⁾。

6. 構造体コンクリートの強度

コンクリートポンプによって圧送されたコンクリートの圧縮強度が打設地点（圧送後）でどのような変動状態にあったかを調査した。

6.1. 供試体採取の割合

当工事に使用した人軽骨コンクリート量は19,500m³で、その内試験対称となったコンクリート量は約65%に当る12,600m³であった。打設量（77m³/回）に対する4W 圧縮供試体（0.0106m³/回）採取の割合は3613：1である。

6.2. 試験方法

6.2.1. 供試体数 1回の採取個数は15φ×30シリンダー6個とした。

標準養生 3個 } 各1個 1週圧縮強度
 湿砂養生 3個 } 各2個 4週圧縮強度

6.2.2. 養生方法 標準養生はJISA1108に準じて20℃水中養生とした。湿砂養生は打設されたコンクリートとなるべく同じような温度、湿潤状態となるように仮想して行なったものである。湿砂は直射日光、雨水、等の影響を受けないように屋根によって保護されており、乾燥し風で飛ばされないように散水された。砂中温度と外気温を測定して図-5に示した。これによると湿砂中の温度は季節によって変化するが、季節内ではほぼ一定値を示している。また、外気温との関係を積算温度で比較すれば、冬期に於いてほぼ一致するのに対し、夏期ではかなり小さい結果となった。

6.3. シリンダー圧縮試験結果

材令4週時の圧縮強度は1バッチ（1回の採取）より養生別に各2個宛採取して求めた。その結果、供試体数は標準養生306個、湿砂養生336個で、これらの平均値、標準偏差、および変動係数は表-3に示す通りである。また、圧縮強度のヒストグラムを図-6に示した。得られた強度値の正規性は正規確率紙によって検定し、その結果は正規性が認められた。

供試体の養生方法	供試体全数の場合				バッチ内を平均化した場合			
	n	\bar{x}	σ (kg/cm ²)	V(%)	n	\bar{x} (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	V(%)
標準養生	306	311.6	40.7	13.1	151	311.6	37.7	12.1
湿砂養生	336	295.7	43.1	14.6	165	295.7	38.8	13.1

表-3 試料平均値と試料標準偏差

当工事では調査表作成にあたり $\sigma=30$ kg/cm²と仮定したが表-3に示したように実際には40 kg/cm²程度になった。一般に、コンクリート調合はワーカビリ

%	供試体全数の場合				バッチ内を平均化した場合			
	調合強度以下のもの		設計基準強度以下のもの		調合強度以下のもの		設計基準強度以下のもの	
	計算量	実測量	計算量	実測量	計算量	実測量	計算量	実測量
標準養生	15.4	15.0	3.9	3.6	13.6	13.3	2.9	2.7
湿砂養生	27.4	25.9	9.9	6.6	24.8	23.6	7.2	5.5

表-4 試験値による不良率推定

ティの関係もあって強度のみで決定できない場合が多い。当工事コンクリートの場合も上記の事柄により実施調

kg/cm ²	日内変動(σ_w)	日間変動(σ_b)	σ_b/σ_w
標準養生	20.9	35.5	1.70
湿砂養生	18.1	38.9	2.15

表-5 日間日内変動

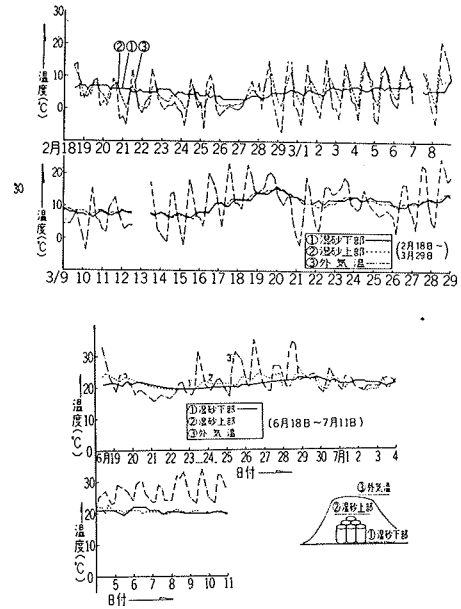


図-5 湿砂中の温度

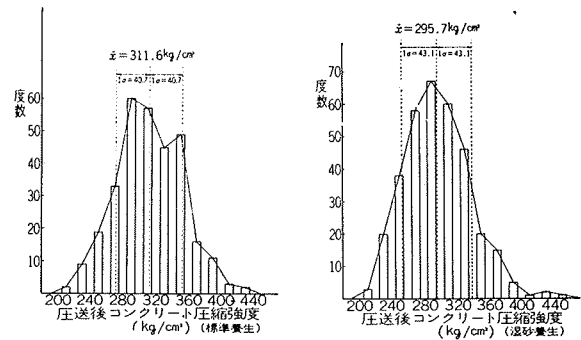


図-6 圧縮強度ヒストグラム

合に於ける圧縮強度は300 kg/cm²前後であったため、仮定した標準偏差値より大きかったにも拘らず、図-4に示すように不良率は6%前後におさまる結果となった。

図-7は打設日毎に得られたヒストグラムから平均強度別に代表例を抽出して図化したものであるが、同時に曲線で囲まれる面積を全て同一として作図した。そのために強度の大きい部分と小さい部分はかなり拡大されている。しかし、打設日によってはかなりの不

良率もあり得ることを示している。

表-5はコンクリート強度の変動を日間と日内の変動に分けて示したもので、日間変動がかなり大きいことを示している。

一般に生コン工場の実態として、ある工場が多品種のコンクリートをバッチ毎に、あるいは数バッチ毎に

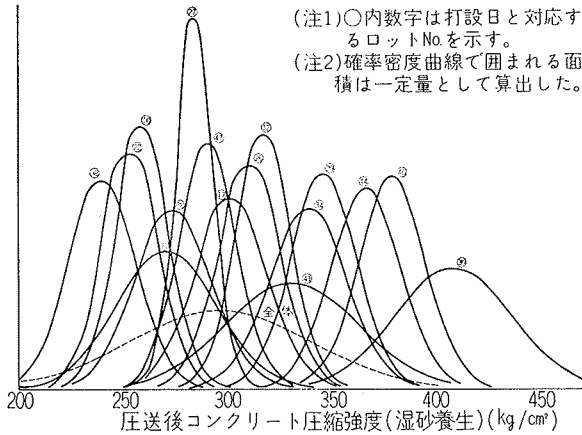


図-7 試料に於ける日間変動図(湿砂養生)

変えて、各需要先へ配送しているのが一般であるために調合精度は低下すると考えられる。その他、セメント、骨材、等の強度バラツキ、あるいは骨材含水率の補正精度もバラツキ要因として取上げられ、コンクリートの高強度化、高品質化を推進するにはこれらの管理精度を良くすることが必要である。

6.4 コアボーリングによる圧縮強度

コアボーリングによる圧縮強度試験は現在コンクリート部材内強度を調査する唯一の方法であるが、人軽骨コンクリートに対してはその推定に不明な点を含んでいる²⁾。当現場に於いても少数例ではあるがコアボーリングで圧縮試験を行なった(表-6)。同時に採取したシリンダー強度と比較すると4W時では大幅に不足している強度も6カ月後にはほぼ同程度に回復しているものと思われる(図-8参照)。少数例である

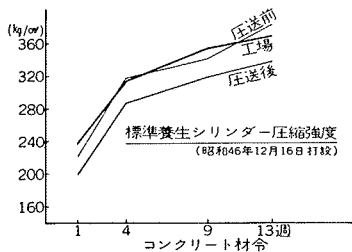


図-8 13W迄のシリンダー強度 影響、等が一因となっているように思われる。また、躯体コンクリートのコアボーリングはシリンダー強度の弱かった打設日のものから採取されたが、この結果よりもかなりの強度増加が認められた。

鋼製シリンダーモールド供試体 15φ×30						コアボーリング供試体 10φ×20				備考
4W材令(標準養生)			4W材令(湿砂養生)			4W材令		長期材令		
工場	圧送前	圧送後	工場	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	
-	-	-	σ:362.4 σ:26.2 n=14	350.7 37.6 n=14	302.6 18.6 n=28	219.3 18.6 n=6	237.7 35.5 n=6	369 348 358	409 382 395	材令 6ヶ月 スラブ 型
-	-	-	"	"	"	215.0 31.8 n=6	223.0 15.8 n=6	372 407 389	432 428 430	" カベ壁
x:342.2 σ:18.0 n=6	326.8 24.4 n=6	263.5 39.4 n=6	320.2 10.4 n=6	315.7 8.7 n=6	255.0 29.7 n=6	-	-	-	304.8 40.8 n=8	6Fカベ 材令 4ヶ月
x:360.5 14.5 n=4	325.3 16.8 n=4	265.0 17.3 n=4	323.0 23.2 n=4	321.3 2.2 n=4	240.8 3.9 n=4	-	-	-	305.0 72.1 n=8	7Fカベ 材令 3ヶ月
x:352 n=3	357 n=3	385 n=3	-	-	-	-	-	-	266 339 322	10F打 設試験 体より 材令 9ヶ月

表-6 コアボーリングによる圧縮強度

7. まとめ

コンクリート工事の全期間(約10カ月)を通じて47回抜取検査を行なって人軽骨コンクリートの品質を調べた。その結果得られた事柄について総括すれば以下の如くである。

- (i) 構造物の安全性を得るにはコンクリート打設全期間にわたるバラツキが既知でなければならない。JASS 5に示す標準偏差の標準値は施工級別A(全自動式バッチャープラント、レミコンなどによる場合)の設備を有する工場でσ=25kg/cm²としているが、この値では小さく、40kg/cm²程度の値が必要と思われる。
 - (ii) 人軽骨コンクリートで設計基準強度 240kg/cm²を確保するには標準偏差σ=40kg/cm²として求めれば可能であると思われる。
 - (iii) 普通コンクリートではあまり支障のないコンクリートポンプ工法も人軽骨コンクリートではスランプ低下、単位容重の増加、あるいは圧縮強度の低下、等々問題が生ずる。
 - (iv) 日本建築学会“コンクリートポンプ工法施工指針”では水平換算長さの限度を200mにしているが、当品質試験結果でもそのような点を裏づけていると思われる。
 - (v) 人軽骨コンクリートではスランプが22cm程度以上ないとスランプロスが著しくなって圧送不能となるケースが多い。コンクリートの品質を確保するためにも、低スランプ人軽骨コンクリートのポンプ圧送問題を検討すべきであろう。
- 以上の事柄を更に総括すれば、コンクリートの高強度化によって標準偏差の値はますます大きな値を必要

とするようになろう。また、コンクリート打設全期間にわたる標準偏差も既知でなければ良質のコンクリートは生産できない。一方、バッチャ設備の精度向上、使用材料の統一化を推進すると共に、これらを取扱うコンクリート技術者の技術が一層大きな役割を果すことになろう。従って、各生コン工場に於ける標準偏差の値 σ は JASS 5 に示されるように一律的に定められるものでなく、むしろ管理実績によって個々別々に決定されるべきものと考えらる。

本調査を実施するに当たり、建研白山和久部長をはじめ非常に多くの方々の御指導御援助を得た。茲に明記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 森永繁, 他: “コンクリートポンプ工法に関する基礎的研究, 清水建設研究所報, 第15号”
- 2) 戸田建設松戸研究所: “郵便貯金会館工事に於ける人軽骨コンクリートの品質と圧送性”