
軽量気泡コンクリートPC板「WALL21」の特性

Properties of Lightweight Foamed-Concrete Precast Panel“WALL21”

木下 陵二(Ryoji Kinoshita) 川本 賢二(Kenji Kawamoto) 御澤 圭三(Keizo Misawa)
渡辺 英彬(Hideakira Watanabe)

要旨：

WALL21 は川鉄建材工業(株)が中低層建築用に実用化したプレキャスト・コンクリートカーテンウォールである。コンクリートは気乾比重約 1.0 のオートクレープ養生した超軽量気泡コンクリートである。オートクレープ養生によりコンクリートの圧縮強度は約 2 倍に向上し、比重 0.8 から 1.2 の範囲では圧縮強度は比重の 2 次曲線で近似できる。JIS A1129 試験法による乾燥収縮率は 0.0008 であるが、オートクレープ養生後吸収処理をしない供試体は 0.00015 できわめて収縮率は小さい。また、気中凍結水中融解法による耐凍害性試験結果では、300 サイクル後の劣化は少ない。その結果、WALL21 は外壁材として必要な機能を備えていることが明らかとなった。

Synopsis：

WALL21 is a precast foamed concrete curtain-wall panel developed by Kawasaki Steel Products Corp. for low- and middle-rise buildings. One of its important special features is low specific gravity, i.e., $\rho \doteq 1.0$. The concrete consists of high early strength Portland cement, silica powder and perlite as light fine aggregates, and a foam agent. The concrete panel is autoclaved. By autoclaving, its compressive strength becomes nearly double compared with a normally cured concrete panel. Compressive strength (F_c) is expressed as a function of ρ , i.e., $F_c \doteq a \rho^2$. The coefficient a is 14.6 N/mm² for the range of specific gravity from 0.8 to 1.2. Drying shrinkage by exposure in water after autoclaving is 0.0008. In the case of without exposing in water, drying shrinkage is 0.00015. Freezing and thawing test gave results. WALL21 offers considerable weight saving and significant thermal insulation that are indispensable for the requirements of a curtain-wall panel.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Properties of Lightweight Foamed-Concrete Precast Panel "WALL 21"



木下 陵二
Ryoji Kinoshita

川鉄建材工業㈱ 技術
研究所第一研究開発室
主任研究員



川本 賢二
Kenji Kawamoto

川鉄建材工業㈱ 技術
研究所建築製品技術室



御澤 圭三
Keizo Misawa

川鉄建材工業㈱ 技術
部取締役技術部長



渡辺 英彬
Hideakira Watanabe

川鉄建材工業㈱ 特品
技術部長

要旨

WALL 21 は川鉄建材工業㈱が中低層建築用に実用化したプレキャスト・コンクリートカーテンウォールである。コンクリートは気乾比重約 1.0 のオートクレーブ養生した超軽量気泡コンクリートである。オートクレーブ養生によりコンクリートの圧縮強度は約 2 倍に向上し、比重 0.8 から 1.2 の範囲では圧縮強度は比重の 2 次曲線で近似できる。JIS A1129 試験法による乾燥収縮率は 0.0008 であるが、オートクレーブ養生後吸水処理をしない供試体は 0.00015 できわめて収縮率は小さい。また、気中凍結水中融解法による耐凍害性試験結果では、300 サイクル後の劣化は少ない。その結果、WALL 21 は外壁材として必要な機能を備えていることが明らかとなった。

Synopsis:

WALL 21 is a precast foamed concrete curtain-wall panel developed by Kawatetsu Steel Products Corp. for low- and middle-rise buildings. One of its important special features is low specific gravity, i.e., $\rho \approx 1.0$. The concrete consists of high early strength Portland cement, silica powder and perlite as light fine aggregates, and a foam agent. The concrete panel is autoclaved. By autoclaving, its compressive strength becomes nearly double compared with a normally cured concrete panel. Compressive strength (F_c) is expressed as a function of ρ , i.e., $F_c \approx a\rho^2$. The coefficient a is 14.6 N/mm² for the range of specific gravity from 0.8 to 1.2. Drying shrinkage by exposure in water after autoclaving is 0.0008. In the case of without exposing in water, drying shrinkage is 0.00015. Freezing and thawing test gave results. WALL 21 offers considerable weight saving and significant thermal insulation that are indispensable for the requirements of a curtain-wall panel.

1 緒 言

建築構造物の外壁材の軽量化は、構造物の軽量化に大きな比重をしめ、躯体コストの低減に効果があるだけでなく、施工上も軽量化のメリットが考えられる。そのため、外壁材の軽量化は種々試みられている¹⁾。

WALL 21 は独自の配合とオートクレーブ養生により軽量気泡コンクリートを実用化したプレキャスト・コンクリートカーテンウォール (PC パネル) である。コンクリートは気乾比重約 1.0 の超軽量気泡コンクリートである。パーライトを軽量骨材として使用するとともに、プレフォームの独立気泡をコンクリートに導入することで軽量化している。特に、オートクレーブ養生により短時間で強度が得られる。WALL 21 では以下に記す PC パネルに要求される機能について研究し、中低層の建築の外装材として十分な機能を有する外壁材として開発されたものである。

PC パネルとして要求される機能として、強度、美観のほか、断熱性能、遮音性能、水密性能、耐火性能、建物の構造に対する層間変形追随性能、耐久性能等多くの機能がある。水密性能および層間変形追随性能等については、すでに報告している²⁻⁴⁾。

本報告では、パネルの製造工程の概略とコンクリートの強度を中心とした物性について報告する。

2 WALL 21 の概要

2.1 製造工程概略

Fig. 1 にパネルの製造工程概略フローを示す。製造工程の概略は次のとおりである。規格化された型枠にタイルシートがセットされ、鉄筋およびファスナーが取り付けられた後コンクリートが打設される。パネルは一次養生 (蒸気養生) の後、翌日脱型され、次に

* 平成 4 年 4 月 7 日原稿受付

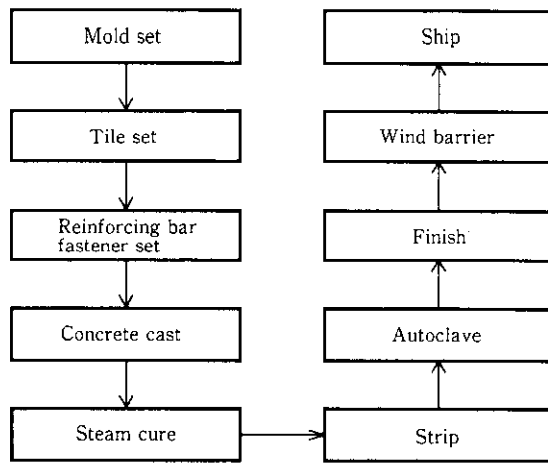


Fig. 1 Production flow chart of WALL 21

オートクレープ養生される。オートクレープ養生後、所定の仕上げが施され出荷される。通常の PC パネルの製造工程と異なるところは、一次養生後さらにオートクレープ養生されることである。また、パネルは、出荷前にウインドバリアが取り付けられる。

2.2 材 料

WALL 21 のコンクリートに使用する材料は Table 1 に示すとおりである。コンクリートは、セメント、珪砂、パーライトおよび水を主原料として混練されたスラリー中に、気泡製造装置を用いて作られた独立気泡を投入し、さらに数十秒混練して製造される。

Table 1 Component materials of concrete

Material	Type and physical properties
Cement (C)	High early strength Portland cement
Silica flour (S)	Blaine specific surface $\approx 3\,000\text{ cm}^2/\text{g}$
Perlite	JIS A 5007 max size 3 mm
Foam-agent	Protein-based material

2.3 オートクレープ養生

オートクレープ養生とは 100°C を超える高温・高圧の飽和蒸気による養生で、WALL 21 の場合の養生条件は、 180°C 、10 気圧である。Photo 1 に示すように、オートクレープ養生によりセメント中の石灰質 (CaO) と微粉珪砂中のシリカ質 (SiO_2) が、高温・高圧の蒸気中で反応し常温の養生では生成されない高強度で安定性の高いカルシウム-シリケート水和物 (Tobermorite, トベルモライト) の結晶が生成される⁹⁾。Fig 2 にオートクレープ養生を行ったコンクリートと同じ配合で水中養生 (20°C) を行ったコンクリートの強度変化を示す。強度変化はオートクレープ養生直後の圧縮強度に対する百分率で示す。オートクレープ養生を行ったコンクリートは水中養生コンクリートの 2 倍近くの圧縮強度が得られる。

3 気泡コンクリートの一般的特性

3.1 比 重

オートクレープ養生後のコンクリートの比重は、水の蒸発によっ



Photo 1 SEM photograph of tobermorite crystal

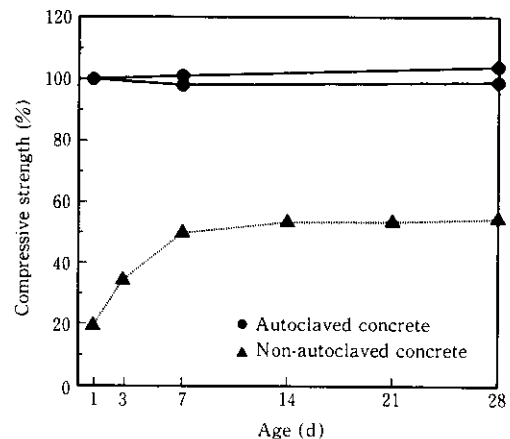
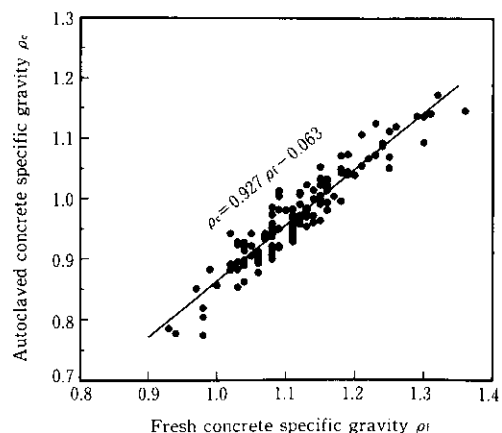


Fig. 2 Change in strength of autoclaved and non-autoclaved concrete for same mix proportion

Fig. 3 Relationship between specific gravity of fresh concrete (ρ_f) and autoclaved concrete (ρ_c)

て軽くなるが、材料の配合およびオートクレープ養生の条件等によって変化する。Fig. 3 に生比重 (ρ_f) とオートクレープ養生直後の気乾比重 (ρ_c) との関係を示す。Fig. 3 は気泡量のみを変化させた

ものである。Fig. 3 に示すとおり気乾比重は生比重の一次式で近似できる。したがって、オートクレーブ養生後の目標とするコンクリートの気乾比重は、生比重により管理できる。

3.2 圧縮強度

Fig. 4 にオートクレーブ養生後の気乾比重 (ρ_c) と圧縮強度との関係を示す。Fig. 4 に示したコンクリートの比重は主として気泡量とパーライト量を変化させたものである。水/結合材比 (水/(セメント量+珪砂微粉量)) は一定の 0.40 である。Fig. 4 でわかるように比重が 0.8 から 1.2 の範囲では強度は気乾比重の二次曲線で近似できる。

Fig. 4 の結果より WALL21 の標準強度を設定し、以下の試験を行った。

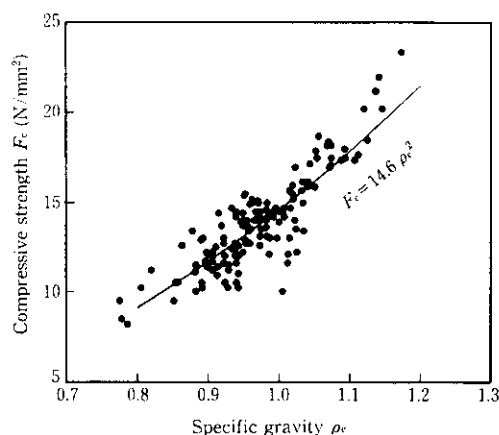


Fig. 4 Relationship between specific gravity (ρ_c) and compressive strength (F_c)

4 WALL 21 の特性

Table 2 に実施した試験の一覧および試験結果を示す。Table 3

Table 2 Test conditions of WALL 21 concrete*¹ and their results

	Test results* ²	Test method	Specimen sizes (mm)
Compressive (N/mm ²)	15.3	JIS A1108	100φ × 200 cylinder
Flexural (N/mm ²)	2.94	JIS A1106	100 × 100 × 400
Tensile (N/mm ²)	1.60	JIS A1113	100φ × 200 cylinder
Young modulus (× 10 ³ N/mm ²)	5.59	Strain gauge Secant modulus	100φ × 200 cylinder
Shrinkage	0.0008 (0.00015* ³)	JIS A1129 Dial gauge	100 × 100 × 400
Frost-resistance to 300 cycles	See Fig. 7 & Photo 2	JIS A1435* ⁴ Freezing and thawing method	100 × 100 × 400

*¹ Specific gravity 1.01

*² Mean values of 3 specimens

*³ Without exposing in water after autoclaved

*⁴ Freezing in air (−20°C) for 7 h and thawing in water (10°C) for 5 h, 12 h/cycle

Table 3 Mix proportion

W/(C+S)* ¹	C+S* ² (kg/m ³)	Perlite (kg/m ³)	Foam-agent (kg/m ³)
0.40	750	100	0.20

*¹ Water to (cement+silica flour) weight ratio

*² Total weight of cement and silica flour

に試験に使用したコンクリートの配合を示す。以下の試験の試料はすべて実際のパネルと同じロットから採取した。

4.1 機械的強度およびヤング係数

強度試験の材齢はすべてオートクレーブ養生後 1 週である。圧縮強度は 15.3 N/mm² であり、Fig. 4 の $\rho_c=1.0$ の時の回帰式とほぼ一致する。曲げ強度および引張強度はそれぞれ 2.94 N/mm², 1.60 N/mm² であり、圧縮強度に対する比はそれぞれ 0.19 および 0.10 である。ヤング係数は 5.59×10^3 N/mm² であった。

4.2 乾燥収縮

乾燥収縮は気泡コンクリートにとって重要な問題である⁶⁾。

乾燥収縮率試験の試験条件を以下に示す。

試験方法: JIS A1129 ダイヤルゲージ法

供試体の養生方法: 温度 20°C 水中で 2 週間吸水, その後温度 20°C, 湿度 60% の恒温恒湿器内に保存。

長さの測定: 吸水 2 週間後に基長の長さを測定, その後 1 週間ごとに 26 週まで測定。

また, 吸水処理をしない試験片の長さ変化も測定した。

乾燥収縮率の測定結果を Fig. 5 に示す。JIS の試験方法による乾燥収縮率は約 0.0008 である。オートクレーブ養生後, 吸水処理をしない試験片の乾燥収縮率は約 0.00015 であり, きわめて少ない。実際のパネルの乾燥収縮率はこの値に近いものと推定される。

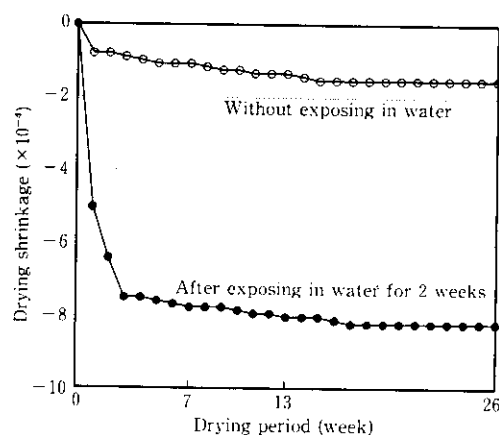


Fig. 5 Test results of drying shrinkage

4.3 耐凍害性

耐凍害性も気泡コンクリートにとって主要な問題である。普通コンクリートや軽量コンクリートの耐凍害性の多くの研究によれば, コンクリート中の空気量が耐凍害性を決める支配的要因であることが明らかになっている⁷⁾。この場合空気量約 5% 程度が凍害に有効であると言われている⁸⁾。WALL21 のコンクリートの場合, 気泡 (空気量) を通常のコンクリートより多く導入している。また,

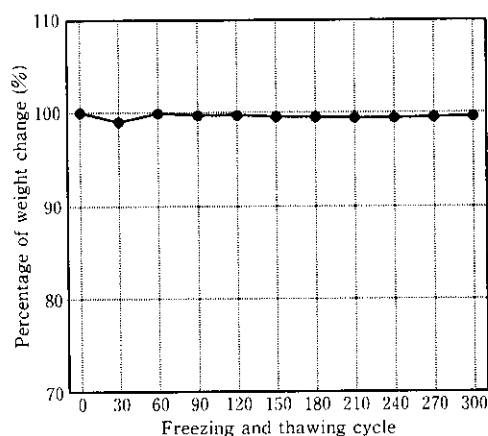


Fig. 6 Weight change in freezing and thawing test

軽量骨材のパーライトは、砂と比較して吸水率が大きい。そこで、JIS A1435「建築用外壁材料の耐凍害性試験方法」に準じた試験を行った。試験条件は以下のとおりである。

供試体の養生：オートクレーブ後 20°C 水中に 2 週間浸漬

試験方法：気中凍結水中融解法

凍結融解条件：-20°C 凍結 7 h, 10°C 融解 5 h, 1 サイクル 12 h

測定項目：①外観観察 ②質量変化率

測定サイクル：30 サイクルごとで 300 サイクルまで

なお、質量変化率は以下の計算式による。

$$\text{質量変化率}(\%) = \frac{M_n}{M_0} \times 100$$

M_0 : 凍結融解試験前の水中浸漬終了時の供試体の質量 (kg)

M_n : 凍結融解 n サイクル終了直後の供試体の質量 (kg)

質量変化率を Fig. 6 に示す。Photo 2 に 300 サイクル終了時の供試体の外観を示す。いずれの供試体も 300 サイクル終了まで質量変化率は数パーセントと少なく、また外観の目だった劣化も観測されなかった⁹⁾。

5 結 言

比重 1.0 前後の気泡コンクリートは、外壁材として要求される種

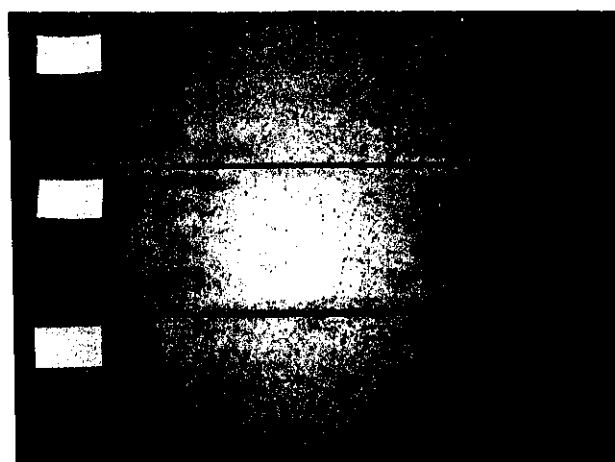


Photo 2 Appearance of the mold-side surface of three specimens after 300 cycles of freezing and thawing test (only a little scaling is observed)

々の機能・特性を満たすことができれば、軽量化のメリットを十分生かすことができる。WALL 21 は、セメント-珪砂微粉を含むマトリックスへの独立気泡の導入およびパーライトの使用により軽量化し、オートクレーブ養生することで、中低層の PC パネルとして十分な特性を備えている。本報告では製造工程の概要、コンクリートの機械的性質、乾燥収縮率、新たに JIS 化された凍結融解試験法による雨がかかりとなる部位¹⁰⁾の建築用外壁材料の耐凍害性試験結果について示した。その結果以下のことが明らかとなった。

- (1) コンクリートの比重管理はフレッシュコンクリートの比重管理で行える。
- (2) オートクレーブ養生したコンクリートはオートクレーブ養生しないコンクリートの約 2 倍の圧縮強度が得られる ($\rho \approx 1.0$)。
- (3) コンクリートの圧縮強度は気乾比重 0.8~1.2 の範囲では配合にかかわらずほぼ二次曲線で近似できる。
- (4) 引張および曲げ強度の圧縮強度に対する比は、それぞれ 0.10 および 0.19 であった。
- (5) JIS A1129 の試験法による乾燥収縮率は約 0.0008 である。オートクレーブ養生後に吸水処理をしないものの乾燥収縮率は約 0.00015 である。
- (6) 気中凍結水中融解試験結果では、300 サイクルまで劣化のきわめて少ないことがわかった。

参 考 文 献

- 1) 白山和久, 上村克郎: 「気泡コンクリート」, (1964), [オーム社]
- 2) 渡辺英彬, 木下陵二, 土壁邦雄: 「耐火オープンジョイントを持つ軽量気泡コンクリート PC カーテンウォール "WALL21"」, 川崎製鉄技報, 20 (1988) 4, 110-111
- 3) 土壁邦雄, 金谷 弘, 田淵基嗣, 上場輝康, 田中王秀, 木下陵二, 宮川和明: 「非構造外壁が構造物の耐震性能に与える影響に関する研究 (その 1 静的実験)」, 日本建築学会近畿支部研究報告集, (1991), 317-320
- 4) 田中王秀, 金谷 弘, 田淵基嗣, 上場輝康, 福田雄一, 宮川和明: 「非構造外壁が構造物の耐震性能に与える影響に関する研究 (その 2 自由振動実験及び解析)」, 日本建築学会近畿支部研究報告集, (1991), 321-324
- 5) W. チェルニン: 「建設技術者のためのセメント・コンクリート化学」, (1985), 83-84, [技報堂]
- 6) P. E. Regan, A. R. Arasteh: "Light weight aggregate foamed concrete," *The Structural Engineer*, 68 (1990) 9, 167-173
- 7) 洪 悦郎, 長谷川寿夫: 「コンクリートの凍結融解試験方法の動向」, コンクリート工学, 19 (1981) 9, 16-22
- 8) 日本建築学会: 「JASS 5 鉄筋コンクリート工事」, (1986)
- 9) 澤田英二, 石川雄康, 寺田了司: 「改良パーライトを用いたモルタルの凍結融解抵抗性」, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), (1988), 443-444
- 10) 財建材試験センター: 「建築材料等の耐久性に関する標準化のための調査研究総括報告書」, (1991)