

木粒コンクリートの実験研究 (1)

江 上 外 人

Experimental Study on the Wooden Grain Concrete

Hokato EGAMI

This paper aims to develop the Light-Weight Aggregate Concrete, by means of property that expand and contract in proportion to the water content of the wood as far as the fiber saturation (30 %).

The results obtained are as follows :

- i It is possible to reduce the property of the wooden grain concrete to 0.6~0.3.
- ii Bothe setting speed and hardness of the wooden grain concrete are adjusted by those $W/C \cdot m \cdot n$.

1. 前 が き

超高層建築などの大規模建築及びインテリジェントビルでは特に耐震・耐火性が要求される。この要求を満たすためにはコンクリートの強度を増大し、かつ自重を軽減することが急務である。この要求に対処した従来技術には、絶乾比重 2.0 以下の鉱物質・人工軽量骨材などを混合してつくる各種の軽量コンクリートがあり、また各種の発泡剤を使用して多量の気泡をコンクリート中につくる気泡コンクリートなどもある。しかしこれらのコンクリートは、建物に作用する外力を支える耐力と建物の耐火性の向上とをともに持つ建築構造用材料としてのコンクリートであるので、強度を必要としない部分に使用する建築材料としては不経済である。そのため仕上げ材料または仕上げ材料の下地用材料として製品化されたものに、木毛とセメントを用いて圧縮成形した木毛セメント板 (JIS A 5404)、木片とセメントを主原料として圧縮成形した木片セメント板 (JIS A 5417) 及びセメント・石綿・パルプを主原料として抄造成形したパルプセメント板 (JIS A 5414, JIS A 5420, JIS A 5427) などがある。即ち、これらは数 mm 以上の木毛・木片、パルプなどを骨材として使用し、それらの骨材をセメントペーストで結合する機構のコンクリート製品である。従って、骨材として使用した木毛・木片・パルプがコンクリート内に原形を保って現れている。

本研究ではセメントの水和作用による硬化と、木材の含水による伸縮の特徴を有効に組合せたコンクリート製造法 (特許出願 62-072596) による木粒コンクリートについて、実験により凝結速さ・軽量・耐火性を確かめて、木粒コンクリートを天井・壁体などにこてで塗ったり、スプレ

ーガンで吹付けるなどに利用し、これを板状にして壁・天井材として使用したり、カーテンウォールの心材として使用することを目的とする。この結果、従来のコンクリート製造機構と全く異なった製造機構によって、耐火性が強く軽量で断熱・遮音性の高い仕上げ材を提供し、また、木粒コンクリートには製材くずなどの廃材・間伐材を利用し、他の軽量コンクリートに比べて低コストで、我が国の産業界に貢献しようとするものである。

2. 木粒コンクリートの機構

従来の木片コンクリート類は、木片類を単に骨材として利用する軽量コンクリートであるが、木粒コンクリートは木材の含水に応ずる膨張の性質を利用して造る軽量コンクリートである。

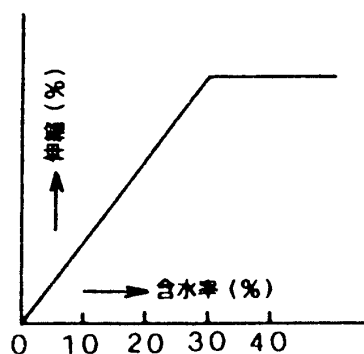


図-1 木材の含水と伸縮

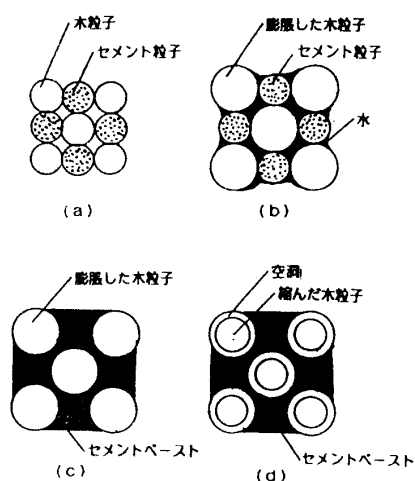


図-2 木粒コンクリートの機構

木粒はなるべく細かくし、木粒子の表面積を大きくして加えた水の一部が細胞膜内に速やかに含水できるようにする。即ち図-1の如く、調合用水が速やかに木粒の細胞膜内に結合水として約30%迄含水する間は木粒は直線的に膨張し、繊維飽和点に達して後は残りの水の一部は更に細胞間隙に遊離水として含水するが、木粒は膨張しない。30%の結合水以外の水はセメントとの水和作用に使われコンクリートは硬化を始め、その頃より結合水は時間とともに失われて細胞膜内に空隙を残す。木粒コンクリートはこの作用を利用して空洞を持つ軽量なコンクリートを造るものである。この機構を図-2に従って説明する。

i 同図(a)にセメント粒子と木粒子とを混合した状態を示す。

ii 同図(a)の状態のもとで調合用水を加えると、木粒は次第に膨張して含水率30%になると最大になり、細胞膜及び細胞間隙に結合水30%及び遊離水を含み木粒とセメント間隙には残りの水が残る(同図(b))。

iii セメントは残りの水と水和作用を起こし、膨張した木粒の周囲をセメントペーストが包む(同図(c))。この時遊離水も残りの水とともに水和作用に使用されるが、結合水は

水和作用に使用されず、従って木粒は最大に膨張した状態を保つ。

iv セメントが硬化が始めるころから次第に木粒は結合水の放出を始め、膨張した木粒は次第に縮まって小さくなり木粒内部に空洞を残す(同図(d))。この結合水の一部は水和作用に使われるとともにコンクリートの養生水ともなる。

このためコンクリートの硬化に時間を要し、一般コンクリートに比べて長時間を要する。本研究ではセメント・木粒・接着剤(混和剤)・水の調合を変化させて、これらの硬化時間を調べるの

を目的の一つとした。

3. 含水率及び嵩比重の測定

本実験ではセメント・木粒・水の他に木粒とセメントペーストとの付着をよくする目的でアクリセット (AD) を使用したので、これらについて含水率及び重量を測定した。

A セメント及び気乾木粒の嵩比重 (β_1 及び β_2)

セメント及び含水率 18% の気乾木粒をそれぞれメスシリンダーの底を叩きながら 1000cm^3 づつ詰め込んだ状態でのそれぞれの嵩比重は式(1)のとおりであった。

$$\left. \begin{array}{l} \text{セメントの嵩比重 } (\beta_1) : 1.36\text{g/cm}^3 \\ \text{気乾木粒の嵩比重 } (\beta_2) : 0.30\text{g/cm}^3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

B アクリセット (AD) の含水率 (α_2) 及び接着剤の嵩比重 (β_3)

硝子容器 5 個にそれぞれ AD を 10g ずつ入れて乾燥器の中に入れ、内部温度を 60°C として乾燥した結果、経過時間と AD の重量との関係は表-1 となった。供試体 No 1~No 5 の 5 個共 45

表-1 AD の重量と経過時間

単位: g

| 供試体 | 経過時間 (時) | | | | | | | | | | 容器重量 (g) |
|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| | 0 | 4 | 22 | 24 | 26 | 28 | 45 | 48 | 50 | 53 | |
| No 1 | 10 | 6.2 | 5.8 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 30.8 |
| No 2 | 10 | 6.0 | 5.6 | 5.6 | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 31.0 |
| No 3 | 10 | 6.2 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 30.8 |
| No 4 | 10 | 6.2 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 31.0 |
| No 5 | 10 | 6.2 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 31.2 |
| 平均 | 10 | 6.16 | 5.64 | 5.60 | 5.56 | 5.56 | 5.56 | 5.44 | 5.44 | 5.44 | 31.0 |

時間経過すると水分がなくなり接着剤のみとなり、その平均は 5.44g となった。従って AD 1g 中の水と接着剤との割合は次のようになる。

$$\text{AD 1g} : \left[\begin{array}{l} \text{水} \dots\dots\dots 0.456\text{g} (45.6\%) \\ \text{接着剤} \dots\dots\dots 0.544\text{g} (54.4\%) \end{array} \right] \dots\dots\dots (2-1)$$

$$\text{AD の含水率 } (\alpha_2) = \frac{0.456}{0.544} \div 0.84 (84\%) \dots\dots\dots (2-2)$$

また AD 1cm^3 の重量は 1.04g であるので、AD 1cm^3 中の水と接着剤との重量は次のようになる。

$$\begin{array}{l} \text{AD } 1\text{cm}^3 \\ \downarrow \\ (1.04\text{g}) \end{array} : \left[\begin{array}{l} \text{水} \dots\dots\dots 1.04 \times 0.456 = 0.474\text{g} \rightarrow (0.474\text{cm}^3) \\ \text{接着剤} \dots\dots\dots 1.04 \times 0.544 = 0.566\text{g} \rightarrow (0.526\text{cm}^3) \end{array} \right] \dots\dots\dots (2-3)$$

$$\text{故に, 接着剤の嵩比重 } (\beta_3) = \frac{0.566}{0.526} \doteq 1.08 \text{ g/cm}^3 \dots\dots\dots (2-4)$$

C 気乾木粒の含水率 (α_1) 及び絶乾木粒の嵩比重 (β_4)

表-2 木粒の重量と経過時間

| 経過時間(時) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------|-----|------|------|------|------|
| 気乾木粒の重量(g) | 100 | 85.8 | 85.0 | 85.0 | 85.0 |

深さ約10mmの円形硝子容器(重量159g)に気乾木粒100gを入れて乾燥器に入れ, 60℃で乾燥した結果, 表-2となった。これより気乾木粒100g中の水と絶乾木粒の割合は式(3-1)となる。

$$\text{気乾木粒 } 100\text{g} : \left\{ \begin{array}{l} \text{水} \dots\dots\dots 15\text{g} (15\%) \\ \text{絶乾木粒} \dots\dots 85\text{g} (85\%) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$\text{即ち, 気乾木粒の含水率 } (\alpha_1) = \frac{15}{85} \doteq 0.18 (18\%) \dots\dots\dots (3-2)$$

気乾木粒1cm³の重量は式(1)により0.3gであるので, 気乾木粒1cm³中の水及び絶乾木粒は式(3-1)より

$$\text{気乾木粒 } 1\text{cm}^3 : \left\{ \begin{array}{l} \text{水} \dots\dots\dots 0.3 \times 0.15 = 0.045\text{g} \rightarrow (0.045\text{cm}^3) \\ \text{絶乾木粒} \dots\dots 0.3 \times 0.85 = 0.255\text{g} \rightarrow (0.955\text{cm}^3) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3-3)$$

$$\text{絶乾木粒の嵩比重 } (\beta_4) = \frac{0.255}{0.955} \doteq 0.27 \text{ g/cm}^3 \dots\dots\dots (3-4)$$

4. 供試体の表示と調合

本実験では容積調合を採用し, 調合を示す供試体を見掛けの水セメント比(単に水セメント比と呼ぶ), セメント容量, 気乾木粒容量, AD容量を用いて次のように表すこととする。

$$\frac{\text{水の重量}}{\text{セメントの重量}} (\bar{W}/C) - \frac{\text{気乾木粒容量}}{\text{セメント容量}} (m) - \frac{\text{AD容量}}{\text{水容量}} (n) \dots\dots\dots (4)$$

供試体の種類は \bar{W}/C を55%, 60%, 65%, 70%, 75%の5種とし, m を2.0, 2.5, 3.0の3種とし, n を0, 0.2, 0.4, 0.6の4種としてこれらを組合せに応じて表-3に示す60体の供試体をつくった。

式(1), 式(3-1)~(3-3)を使って表-3に示す供試体のそれぞれの調合をセメント容積が200cm³の場合について, 次の〔例〕のように計算して表-3に示す。

本実験では精度を高める目的で重量調合によることとした。

〔例〕 (\bar{W}/C) (m) (n)

60 — 3 — 0.6の場合 :

(水セメント比 (\bar{W}/C) 60%, 容積調合比 1:3:0.6)

木粒コンクリートの実験研究 (1)

表-3 供試体の調合

| 供 試 体 | 供 試 体 の 調 合 | | | | | | | 各 調 合 用 材 を セ メ ン ト 中 華 で 割 っ た 値 | | | | | |
|------------|-------------|------|-------------------|-------------------|-----|------|-------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|------|----------|---|
| | 気乾木粉 | 絶乾木粉 | 混合用水 | 実測の水 | AD | 比着剤 | 全体の重量 | W _f (混合用水) | W _o (実測の水) | Mo (絶乾木粉) | AD | NO (比着剤) | |
| | (M) | (Mo) | (W _f) | (W _o) | (N) | (No) | (本なし) | | | | | | |
| | | | | | | | | C | C | C | C | C | C |
| 55-2-0 | | | | 199 | 0 | 0 | 374 | | 0.73 (1.33) | | 0 | 0 | |
| 55-2-0.2 | | | 180 | 213 | 31 | 17 | 391 | 0.66 | 0.78 (1.42) | | 0.11 | 0.06 | |
| 55-2-0.4 | | | | 227 | 62 | 34 | 408 | (1.20) | 0.83 (1.52) | | 0.23 | 0.13 | |
| 55-2-0.6 | | | | 241 | 93 | 51 | 425 | | 0.89 (1.61) | | 0.34 | 0.18 | |
| 60-2-0 | | | | 212 | 0 | 0 | 374 | | 0.78 (1.30) | | 0 | 0 | |
| 60-2-0.2 | | | 194 | 228 | 34 | 18 | 392 | 0.71 | 0.84 (1.40) | | 0.13 | 0.07 | |
| 60-2-0.4 | | | | 243 | 68 | 37 | 411 | (1.18) | 0.89 (1.49) | | 0.25 | 0.14 | |
| 60-2-0.6 | | | | 259 | 102 | 55 | 429 | | 0.95 (1.59) | | 0.38 | 0.21 | |
| 65-2-0 | | | | 226 | 0 | 0 | 374 | | 0.83 (1.28) | | 0 | 0 | |
| 65-2-0.2 | 120 | 102 | 207 | 243 | 37 | 20 | 394 | 0.76 | 0.89 (1.37) | 0.38 | 0.14 | 0.08 | |
| 65-2-0.4 | | | | 260 | 74 | 40 | 414 | (1.17) | 0.96 (1.47) | | 0.27 | 0.15 | |
| 65-2-0.6 | | | | 276 | 110 | 60 | 434 | | 1.01 (1.56) | | 0.40 | 0.22 | |
| 70-2-0 | | | | 239 | 0 | 0 | 374 | | 0.88 (1.26) | | 0 | 0 | |
| 70-2-0.2 | | | 221 | 258 | 40 | 22 | 396 | 0.81 | 0.95 (1.36) | | 0.15 | 0.08 | |
| 70-2-0.4 | | | | 275 | 79 | 43 | 417 | (1.16) | 1.01 (1.44) | | 0.29 | 0.16 | |
| 70-2-0.6 | | | | 294 | 119 | 65 | 439 | | 1.08 (1.54) | | 0.44 | 0.24 | |
| 75-2-0 | | | | 253 | 0 | 0 | 374 | | 0.93 (1.24) | | 0 | 0 | |
| 75-2-0.2 | | | 235 | 272 | 42 | 23 | 397 | 0.86 | 1.00 (1.33) | | 0.15 | 0.08 | |
| 75-2-0.4 | | | | 292 | 85 | 46 | 420 | (1.15) | 1.07 (1.43) | | 0.31 | 0.17 | |
| 75-2-0.6 | | | | 311 | 127 | 69 | 443 | | 1.14 (1.52) | | 0.47 | 0.26 | |
| 55-2.5-0 | | | | 210 | 0 | 0 | 400 | | 0.77 (1.40) | | 0 | 0 | |
| 55-2.5-0.2 | | | 188 | 224 | 31 | 17 | 416 | 0.69 | 0.82 (1.50) | | 0.11 | 0.06 | |
| 55-2.5-0.4 | | | | 238 | 62 | 34 | 433 | (1.25) | 0.88 (1.59) | | 0.23 | 0.13 | |
| 55-2.5-0.6 | | | | 253 | 93 | 51 | 450 | | 0.93 (1.69) | | 0.34 | 0.18 | |
| 60-2.5-0 | | | | 224 | 0 | 0 | 400 | | 0.82 (1.37) | | 0 | 0 | |
| 60-2.5-0.2 | | | 201 | 239 | 34 | 18 | 418 | 0.74 | 0.88 (1.47) | | 0.13 | 0.07 | |
| 60-2.5-0.4 | | | | 255 | 68 | 37 | 436 | (1.23) | 0.94 (1.56) | | 0.25 | 0.14 | |
| 60-2.5-0.6 | | | | 270 | 102 | 55 | 455 | | 0.99 (1.66) | | 0.38 | 0.21 | |
| 65-2.5-0 | | | | 237 | 0 | 0 | 400 | | 0.87 (1.34) | | 0 | 0 | |
| 65-2.5-0.2 | 150 | 128 | 215 | 254 | 37 | 20 | 420 | 0.79 | 0.93 (1.44) | 0.47 | 0.14 | 0.08 | |
| 65-2.5-0.4 | | | | 271 | 74 | 40 | 440 | (1.22) | 1.00 (1.53) | | 0.27 | 0.15 | |
| 65-2.5-0.6 | | | | 287 | 110 | 60 | 459 | | 1.06 (1.62) | | 0.40 | 0.22 | |
| 70-2.5-0 | | | | 251 | 0 | 0 | 400 | | 0.92 (1.32) | | 0 | 0 | |
| 70-2.5-0.2 | | | 229 | 269 | 40 | 22 | 421 | 0.84 | 0.99 (1.41) | | 0.15 | 0.08 | |
| 70-2.5-0.4 | | | | 287 | 79 | 43 | 442 | (1.20) | 1.06 (1.51) | | 0.29 | 0.16 | |
| 70-2.5-0.6 | | | | 305 | 119 | 65 | 464 | | 1.12 (1.60) | | 0.44 | 0.24 | |
| 75-2.5-0 | | | | 265 | 0 | 0 | 400 | | 0.97 (1.30) | | 0 | 0 | |
| 75-2.5-0.2 | | | 242 | 284 | 42 | 23 | 422 | 0.89 | 1.04 (1.39) | | 0.15 | 0.08 | |
| 75-2.5-0.4 | | | | 303 | 85 | 46 | 446 | (1.19) | 1.11 (1.49) | | 0.31 | 0.17 | |
| 75-2.5-0.6 | | | | 322 | 127 | 69 | 469 | | 1.18 (1.58) | | 0.47 | 0.26 | |
| 55-3-0 | | | | 223 | 0 | 0 | 425 | | 0.82 (1.49) | | 0 | 0 | |
| 55-3-0.2 | | | 196 | 237 | 31 | 17 | 442 | 0.72 | 0.87 (1.58) | | 0.11 | 0.06 | |
| 55-3-0.4 | | | | 251 | 62 | 34 | 459 | (1.31) | 0.92 (1.68) | | 0.23 | 0.13 | |
| 55-3-0.6 | | | | 265 | 93 | 51 | 476 | | 0.97 (1.77) | | 0.34 | 0.18 | |
| 60-3-0 | | | | 236 | 0 | 0 | 425 | | 0.87 (1.45) | | 0 | 0 | |
| 60-3-0.2 | | | 209 | 252 | 34 | 18 | 443 | 0.77 | 0.93 (1.54) | | 0.13 | 0.07 | |
| 60-3-0.4 | | | | 267 | 68 | 37 | 462 | (1.28) | 0.98 (1.64) | | 0.25 | 0.14 | |
| 60-3-0.6 | | | | 283 | 102 | 55 | 480 | | 1.04 (1.73) | | 0.38 | 0.21 | |
| 65-3-0 | | | | 250 | 0 | 0 | 425 | | 0.92 (1.41) | | 0 | 0 | |
| 65-3-0.2 | 180 | 153 | 223 | 267 | 37 | 20 | 445 | 0.82 | 0.98 (1.51) | 0.56 | 0.14 | 0.08 | |
| 65-3-0.4 | | | | 284 | 74 | 40 | 465 | (1.26) | 1.04 (1.61) | | 0.27 | 0.15 | |
| 65-3-0.6 | | | | 300 | 110 | 60 | 485 | | 1.10 (1.70) | | 0.40 | 0.22 | |
| 70-3-0 | | | | 263 | 0 | 0 | 425 | | 0.97 (1.38) | | 0 | 0 | |
| 70-3-0.2 | | | 236 | 282 | 40 | 22 | 447 | 0.87 | 1.04 (1.48) | | 0.15 | 0.08 | |
| 70-3-0.4 | | | | 299 | 79 | 43 | 468 | (1.24) | 1.10 (1.57) | | 0.29 | 0.16 | |
| 70-3-0.6 | | | | 318 | 119 | 65 | 490 | | 1.17 (1.67) | | 0.44 | 0.24 | |
| 75-3-0 | | | | 277 | 0 | 0 | 425 | | 1.02 (1.36) | | 0 | 0 | |
| 75-3-0.2 | | | 250 | 296 | 42 | 23 | 448 | 0.92 | 1.09 (1.45) | | 0.15 | 0.08 | |
| 75-3-0.4 | | | | 316 | 85 | 46 | 471 | (1.23) | 1.16 (1.55) | | 0.31 | 0.17 | |
| 75-3-0.6 | | | | 335 | 127 | 69 | 494 | | 1.23 (1.64) | | 0.47 | 0.26 | |

セメント重量 (C) ……式(1)より $1.36 \text{ g/cm}^3 \times 200 \text{ cm}^3 = 272 \text{ g}$

気乾木粒重量 (M) ……式(1)より $0.30 \text{ g/cm}^3 \times 600 \text{ cm}^3 = 180 \text{ g}$

絶乾木粒重量 (M_0) ……式(3-1)より $180 \text{ g} \times 0.85 = 153 \text{ g}$

気乾木粒の含水量……式(3-1)より $180 \text{ g} \times 0.15 = 27 \text{ g}$

見掛けの水の重量 (\bar{W}) …… $272 \text{ g} \times 0.6 = 163.2 \text{ g} \rightarrow (163.2 \text{ cm}^3)$

AD の重量 (N) ……式(2)より $163.2 \text{ cm}^3 \times 0.6 \times 1.04 \text{ g/cm}^3 = 102 \text{ g}$

調合用水の重量 (\bar{W}_1) ……絶乾木粒の 30% の含水 (結合水) 及び AD 中の水は早期の水合作用に利用されないものと仮定すれば式(5)となる。

$$\bar{W}_1 = \left\{ \text{セメント重量}(C) \times \frac{\bar{W}}{C} + \text{絶乾木粒の重量}(M_0) \times 0.3 \right\} \text{g} \quad \dots\dots\dots (5)$$

AD 中の接着剤の重量 (N_0) ……式(2-1)より $102 \text{ g} \times 0.544 = 55.49 \text{ g}$

AD 中の水の重量……式(2-1)より $102 \text{ g} \times 0.456 = 46.51 \text{ g}$

実際の水の重量 (\bar{W}_0) ……調合用水の重量 (\bar{W}_1) と絶乾木粒の重量 (M_0) の 30% に当る含水と AD の重量 (N) の含水との和である。即ち

$$\bar{W}_0 = \bar{W}_1 + M_0 \times \text{気乾木粒の含水率}(\alpha_1) + N_0 \times \text{AD の含水率}(\alpha_2) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式(2)より

$$\bar{W}_0 = (272 \text{ g} \times 0.6 + 180 \text{ g} \times 0.85 \times 0.3) + (180 \text{ g} \times 0.15) + (102 \text{ g} \times 0.456) \doteq 283 \text{ g}$$

上記例示の方法に従って、総ての供試体の重量調合 ($M \cdot N \cdot \bar{W}_1$) 並びに接着剤の重量 (N_0) ・実際の水の重量 (\bar{W}_0) ・水を除いた全重量 ($272 \text{ g} + M_0 + N_0$) を算定して表-3に示す。

5. 供試体の性状

表-3に示す供試体についてその性状を考察する目的で、同表の調合用諸材料をセメントの重量 (C) で割って表-3に示す。

A 調合用水の重量 (\bar{W}_1) と実際の水の重量 (\bar{W}_0) との関係

\bar{W}_1 と \bar{W}_0 との関係は式(6)に式(5)を代入して

$$\bar{W}_0 = \frac{\bar{W}}{C} C + (0.3 + \alpha_1) M_0 + \alpha_2 N_0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式(7)より実際の水セメント比 (\bar{W}_0/C) を求めれば式(8)となる。

$$\frac{\bar{W}_0}{C} = \frac{\bar{W}}{C} + (0.3 + \alpha_1) \frac{M_0}{C} + \alpha_2 \frac{N_0}{C} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{\bar{W}_2}{C} = (0.3 + \alpha_1) \frac{M_0}{C} + \alpha_2 \frac{N_0}{C} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式(8)より、実際の水セメント比 (\bar{W}_0/C) は見掛けの水セメント比 (\bar{W}/C) よりも式(9)に示す増加水セメント比 (\bar{W}_2/C) だけ増加する。

式(8)及び(9)より次のことがわかる。

- i 気乾木粒の含水率 (α_1) が増加しても、AD の含水率 (α_2) が増加しても実際の水セメント

比 (\bar{W}_0/C) は増加する。

ii 絶乾木粒セメント比 (M_0/C) が増加しても、接着剤セメント比 (N_0/C) が増加しても実際の水セメント比は増加する。

本実験の供試体では式(9)中の $\alpha_1 = 0.18$, $\alpha_2 = 0.84$ であるので式(10)となり、これを図-3に示す。

$$\frac{\bar{W}_2}{C} = 0.48 \frac{M_0}{C} + 0.84 \frac{N_0}{C} \dots\dots\dots (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに } \frac{\bar{W}_2}{C} &= \frac{\bar{W}_2'}{C} + \frac{\bar{W}_2''}{C} \\ \text{(I)直線} \dots\dots \frac{\bar{W}_2'}{C} &= 0.48 \frac{M_0}{C}, \text{ (II)直線} \dots\dots \frac{\bar{W}_2''}{C} = 0.84 \frac{N_0}{C} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

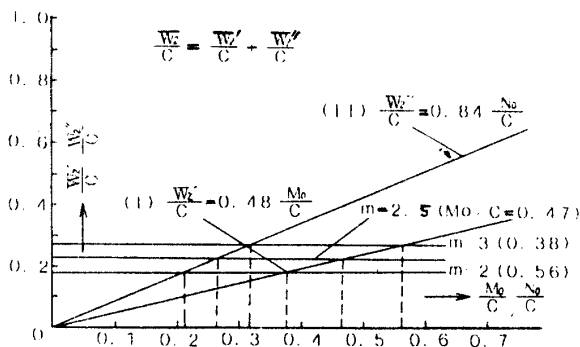


図-3 実際の水セメント比の増加と絶乾木粒セメント比, 接着剤セメント比

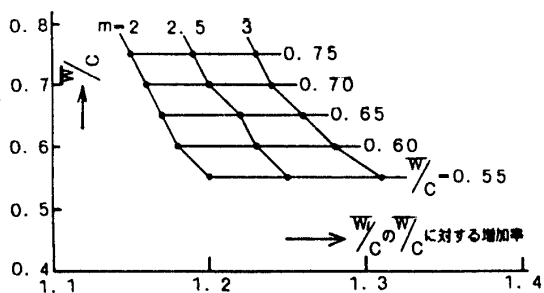


図-4 \bar{W}/C と \bar{W}_1/C の \bar{W}/C に対する増加率

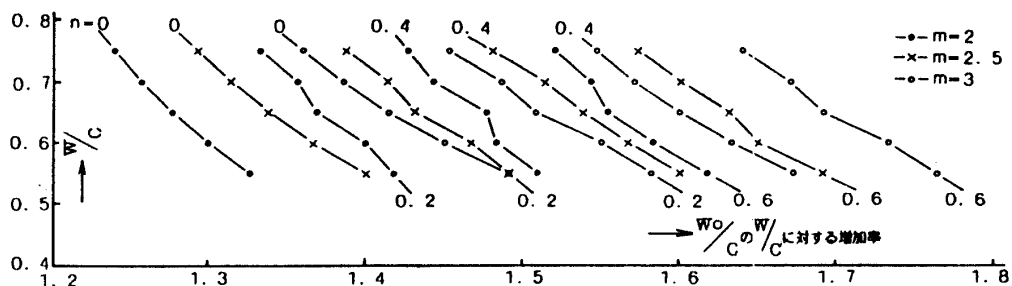


図-5 \bar{W}/C と \bar{W}_0/C の \bar{W}/C に対する増加率

図-3 より次のことがわかる。

iii $m = 3$ の供試体では n が 0.32 以下のもの, $m = 2.5$ の供試体では n が 0.27 以下のもの, $m = 2$ の供試体では n が 0.22 以下のものがそれぞれ M_0/C の値が N_0/C の値よりも水セメント比を多く増加させる。

実際の水セメント比 (\bar{W}_0/C) は見掛けの水セメント比 (\bar{W}/C) より増加し, その増加水セメント比 (\bar{W}_2/C) は表-3 の値を用いて式(10)で計算すればよい。従って実際の水セメント比を式(8)で求めて表-3 に示す。また同表の $\bar{W}_1/C \cdot \bar{W}_0/C$ を \bar{W}/C で割った値をそれぞれ () 内に示しこれを図-4 及び 5 に示す。表-3 及び図-4, 5 から次のことがわかる。

iv 図-4 より気乾木粒セメント比 (m) が一定の場合は, 見掛けの水セメント比 (\bar{W}/C) の増加に応じて逆に調合用水セメント比 (\bar{W}_1/C) の \bar{W}/C に対する増加の割合は減少し, \bar{W}/C が一定

の場合は、 m の増加に応じて \bar{W}_1/C の \bar{W}/C に対する増加の割合は増加する。

v 図-5 より n が一定の場合は、 \bar{W}/C の増加に応じて \bar{W}_0/C の \bar{W}/C に対する増加の割合は逆に減少し、 m が一定の場合は、 n の増加に応じて \bar{W}_0/C 、 \bar{W}/C に対する増加の割合は増加する。

vi \bar{W}/C が一定の場合は、 m が増加しても n が増加しても \bar{W}_0/C の \bar{W}/C に対する増加の割合は増加する。

B 調合と嵩比重

供試体の重量は調合用材料の総てについて水を除いたものの合計とし、またその容積はそれらの容積の合計したものとする。これによって供試体の嵩比重は式(12)となる。

$$\text{木粒コンクリートの嵩比重} = \frac{C + M_0 + N_0}{\frac{C}{\beta_1} + \frac{M_0}{\beta_2} + \frac{N_0}{\beta_3}} \quad \cdots \cdots \cdots (12)$$

本研究では $C = 272\text{g}$, $\beta_1 = 1.36\text{g/cm}^3$, $\beta_2 = 0.3\text{g/cm}^3$, $\beta_3 = 1.08\text{g/cm}^3$ であるので

$$\text{木粒コンクリートの嵩比重} = \frac{272 + M_0 + N_0}{200 + 3.33M_0 + 0.93N_0} \quad \cdots \cdots \cdots (13)$$

表-4 木粒コンクリートの調合と嵩比重

| \bar{W}/C | m | n | | | | |
|-------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 平均 |
| 0.55 | 2 | 0.693 | 0.704 | 0.714 | 0.724 | 0.709 |
| | 2.5 | 0.639 | 0.649 | 0.660 | 0.669 | 0.654 |
| | 3 | 0.599 | 0.609 | 0.619 | 0.629 | 0.614 |
| | 平均 | 0.644 | 0.645 | 0.664 | 0.674 | 0.657 |
| 0.60 | 2 | 0.693 | 0.705 | 0.716 | 0.726 | 0.710 |
| | 2.5 | 0.639 | 0.650 | 0.661 | 0.672 | 0.656 |
| | 3 | 0.599 | 0.610 | 0.621 | 0.631 | 0.615 |
| | 平均 | 0.644 | 0.655 | 0.666 | 0.676 | 0.660 |
| 0.65 | 2 | 0.693 | 0.706 | 0.718 | 0.729 | 0.712 |
| | 2.5 | 0.639 | 0.651 | 0.663 | 0.674 | 0.657 |
| | 3 | 0.599 | 0.611 | 0.623 | 0.634 | 0.617 |
| | 平均 | 0.644 | 0.656 | 0.668 | 0.679 | 0.662 |
| 0.70 | 2 | 0.693 | 0.707 | 0.719 | 0.732 | 0.713 |
| | 2.5 | 0.639 | 0.653 | 0.665 | 0.677 | 0.659 |
| | 3 | 0.599 | 0.612 | 0.624 | 0.636 | 0.618 |
| | 平均 | 0.644 | 0.657 | 0.669 | 0.682 | 0.663 |
| 0.75 | 2 | 0.693 | 0.708 | 0.721 | 0.734 | 0.714 |
| | 2.5 | 0.639 | 0.653 | 0.667 | 0.679 | 0.660 |
| | 3 | 0.599 | 0.613 | 0.626 | 0.639 | 0.620 |
| | 平均 | 0.644 | 0.658 | 0.671 | 0.684 | 0.664 |

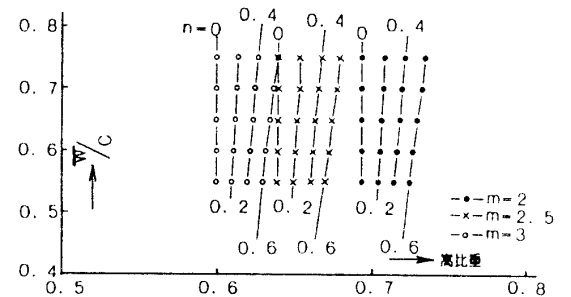


図-6 木粒コンクリートの調合と嵩比重

表-3 の M_0 , N_0 の値を式(13)に代入して各供試体の嵩比重を計算してその値を表-4 に示し、それを図示して図-6 に示す。式(12), (13)より次のことがわかる。

i セメント、絶乾木粒、接着剤の嵩比重がそれぞれ小さい程木粒コンクリートの嵩比重は小さくなる。

表-4 及び図-6 より次のことがわかる。

ii 気乾木粒セメント比 (m) が一定の場合は、AD セメント比 (n) が 0 の場合が木粒の嵩比重が最小であり、

その他は n が大きくなるに従って大きくなる。

iii ii に示した性状は \bar{W}/C の如何にかかわらず成立し、その絶対値は \bar{W}/C が大きい方 (0.75) が小さい方 (0.55) より大きい。

iv また \bar{W}/C の如何にかかわらず \bar{W}/C が一定の場合は、 m が大きい方が n の変化による木粒の嵩比重の平均値は小さくなり、然も \bar{W}/C の小さい方が小さくなる ($n = 0$ の場合は \bar{W}/C に関係なく一定である)。

v 本実験の結果では、AD を使用しなければ $m = 3$ とすれば木粒コンクリートの嵩比重を 0.599 とすることができ、 $\bar{W}/C = 0.55$ で $n = 0.2$ とすれば比重を 0.609 にでき、 $\bar{W}/C = 0.55$ で $n = 0.4$ または $\bar{W}/C = 0.75$ で $n = 0.2$ にすれば共に比重を 0.613~0.619 とすることができる。0.75 $\geq \bar{W}/C \geq 0.55$ の間では n を選んで比重を小さくするようにすればよい。

6. 供試体の調合と硬化実験

A 実験及び実験結果

表-3 に示す調合の木粒コンクリートをセメントの強度試験体用型枠 (大きさ 40mm×40mm×160mm) に打込んでから 5 日経過して脱型してその重量を測定し、以後 5 日毎に重量測定を継続した結果の一部を表-5 に示す。

表-5 経過日数と重量

| | | | | | | | | | | |
|------------|--------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 65-2.5-0 | 材令 (日) | 5 | 11 | 15 | 20 | 25 | 32 | 37 | 42 | 48 |
| | 重量 (g) | 220 | 200 | 190 | 185 | 180 | 183 | 180 | 180 | 180 |
| | 重量比 | 1 | 0.91 | 0.86 | 0.84 | 0.82 | 0.83 | 0.82 | 0.82 | 0.82 |
| 65-2.5-0.2 | 材令 (日) | 5 | 11 | 15 | 20 | 25 | 32 | 37 | 42 | 48 |
| | 重量 (g) | 305 | 270 | 255 | 242 | 235 | 226 | 228 | 225 | 225 |
| | 重量比 | 1 | 0.89 | 0.84 | 0.79 | 0.77 | 0.74 | 0.75 | 0.74 | 0.74 |

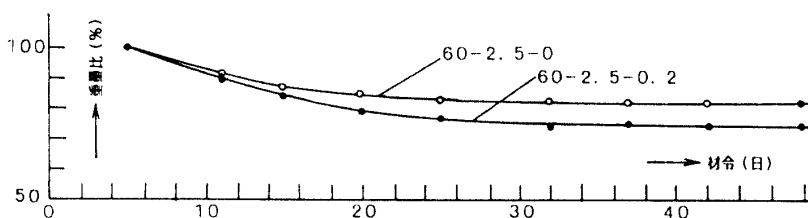


図-7 重量比と材令

脱型時の重量に対する各測定毎の重量の割合を計算して同表に示す。この割合を図-7のように補正し、同曲線で 5 日毎の減量の割合が 1% 以内となった時点を硬化と見なして求めた結果を表-6 に示す。

B 実験結果に関する考察

i 気乾木粒セメント比 (m) と硬化日数

表-6 によれば、気乾木粒セメント比 (m) が増加すれば硬化日数は多くなる傾向がある。

表-6 木粒コンクリートの調合と硬化日数(日)

| $\frac{W}{C}$ | m | n | | | |
|---------------|-----|----|-----|-----|-----|
| | | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 |
| 0.55 | 2 | 20 | 15 | 15 | 15 |
| | 2.5 | 20 | 25 | 30 | 30 |
| | 3 | 15 | 15 | 20 | 20 |
| 0.60 | 2 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| | 2.5 | 25 | 35 | 40 | 25 |
| | 3 | 25 | 40 | 40 | 45 |
| 0.65 | 2 | 25 | 45 | 50 | 50 |
| | 2.5 | 25 | 30 | 45 | 45 |
| | 3 | 35 | 45 | 35 | 45 |
| 0.70 | 2 | 40 | 30 | 35 | 50 |
| | 2.5 | 20 | 30 | 35 | 35 |
| | 3 | 15 | 20 | 20 | 40 |
| 0.75 | 2 | 25 | 25 | 25 | 45 |
| | 2.5 | 30 | 20 | 35 | 40 |
| | 3 | 30 | 35 | 30 | 40 |

ii AD 水比 (n) と硬化日数

表-6によれば、AD 水比 (n) が増加すれば硬化日数は多くなる傾向がある。

iii 硬 化 度

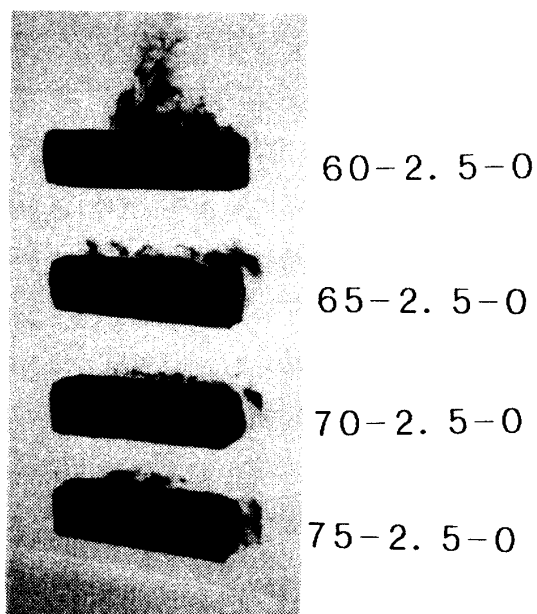
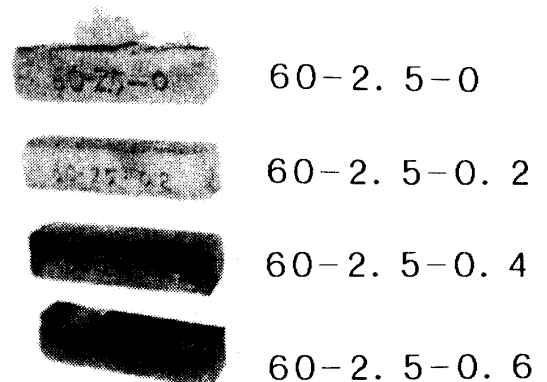
供試体の硬化後のくずれ易さを調べたところ写真-1に示すように、AD の使用しないものはくずれ易いので多少の AD 使用が好ましい。

7. 木粒コンクリートの調合方針

本研究では耐火性を最重要とし、強度は自己の形状を保てる程度にとどめ材料の軽量化をねらうので、調合の性状と調合実験から軽量で硬化速度が速くかつくずれにくさから木粒コンクリートの理想的調合を定める。

A 軽量さとくずれにくさ

i セメント・絶乾木粒・接着剤の嵩比重が小さい程、木粒コンクリートの嵩比重は小さくなる。ポルトランドセメントの比重は一定であるが、木材の比重は0.3~1.0及


 $\frac{W}{C}$ の変化


ADの変化

写真-1 調合と硬化度

び 1.0 以上であり、杉の絶乾比重は 0.3 と小さいので杉材の木粒を使用し、また接着剤は比重の小さいものを使用するのが好ましい。

ii 気乾木粒セメント比 (m) が一定の場合は、AD セメント比 (n) が小さい方が木粒コンクリートの嵩比重が小さくなるが、実験によれば $n = 0$ は硬化後の製品がくずれ易いので $n = 0.2 \sim 0.6$ の範囲の小さい値で AD 剤を使用するのが好ましい。

iii 見掛けの水セメント比 (\bar{W}/C) が一定の場合は、 m が大きい方が木粒コンクリートの嵩比重は小さくなるので $m = 2.5 \sim 3.0$ の大きい値を使用するのが好ましい。

iv m が一定の場合は、 \bar{W}/C は小さい方が木粒コンクリートの嵩比重が小さくなるので $\bar{W}/C = 0.55 \sim 0.60$ の小さい値とするのが好ましい。

B 硬化の速さ

v \bar{W}/C が増加すれば実際の水セメント比 (\bar{W}_0/C) の \bar{W}/C に対する割合は減少し、 \bar{W}/C が一定では m が増加しても、 n が増加しても \bar{W}_0/C の \bar{W}/C に対する割合は増加する。ところが実験によれば \bar{W}/C が増加したり、 n が増加したり、 m が増加すれば硬化日数が多くなる。従って、 \bar{W}_0/C の \bar{W}/C に対する割合が増加すると硬化日数が多くなることがわかる。故に \bar{W}/C は多くしても m 、 n を小さくすると硬化日数が少なくなることがわかる。

C 調 合 方 針

上記 i により木粒及び接着剤は比重の小さいものを使用し、ii~v により $n = 0.2$ 、 $m = 3$ とし、 $\bar{W}/C = 0.55$ とするのが好ましいことがわかる。ただし木粒コンクリートの嵩比重を更に軽量化するには $m = 3$ とし、 n を多少増加すればよく、これによれば嵩比重を 0.6 位にすることは可能である。

8. む す び

強度をあきらめて軽量で耐火性の高い材料を開発する目的で、筆者は木材の含水と伸縮の関係を理論的に組合せて、コンクリート練り混ぜ中に木粒が膨脹し硬化するに従って含水が失われて、コンクリート内部に膨脹した絶乾木粒を残す機構を発明した。本研究では実験によりこれを確かめ、嵩比重 0.6 の木粒コンクリートを実用化した。絶乾木粒の嵩比重が小さい木材を選び、その調合を変化させ更に発泡剤を使用することにより、嵩比重が 0.3~0.6 の木粒コンクリートが可能である。