

正会員 ○杉山 雅, 局長谷川 寿夫, 同 洪 悦郎(北海道大学)

1. はじめに

本研究は、コンクリート構造物の圧縮強度・静ヤング係数に大きな影響を及ぼすと思われる養生条件、特に部材別乾燥条件に着目し、乾燥に影響を及ぼす要因について実験シリーズを組み、打込み後の各部材の乾燥過程の差と圧縮強度、静ヤング係数の関係について、枚令2年に亘って比較検討するものである。今回は、(A)部材厚、(B)型わく存置期間、(C)打込み時の骨材吸水量の差による影響について、検討した。

2. 実験方法

実験は、要因ごとに3シリーズを設定し、その概要を表-1に示す。

表-1 実験シリーズ概要

*：途中湿度低下の期間有。枚令18日。試験体室内気中に移動。

| シリーズ名 | 実験要因 | 放置場所 | 形状 | 粗骨材吸水率(%) | 記号 | 脱型状況 |
|-------|----------------|--|------------------------------------|--------------------------|------------|--|
| A | 部材厚の影響 | 室内気中 | 壁厚(cm)スラブ厚(cm) 10,15,20 8,12,16 | 2.02 (川砂利) | — | スラブ状態(打込み後上面のみ封かんし、18日底板のみ脱型) 壁 (" " 全面封かん、5日目両側板のみ脱型) |
| B | 型わく存置期間の影響 | 室内気中 | 角柱 10,10×20cm 柱型 40,40×20cm | 1.58 (山砂利 陸砂利) | — | 壁 (" " 1,2,3,4,5日目両側板のみ脱型) 柱 (" " 1,3,5日目、4側板のみ脱型) |
| C | 打込み時の粗骨材吸水率の影響 | 恒温恒湿 * (20±2℃, 60±5%) 湿空 (20±2℃, 85±5%) | 角柱 10×10×20cm | 2.08 (川砂利) | T | 全面脱型(" " 枚令1日目 全面脱型) |
| | | | | 12.0 (人工軽量) | B12 | スラブ状態(" " 上面のみ封かんし、18日底板のみ脱型) |
| | | | | 18.7 (") 25.8 (") | B19 B26 | 壁 (" " 全面封かん、5日目両側板のみ脱型) |

【Aシリーズ：部材厚の影響】乾燥による性状変化を受けやすいと考えられる比較的薄い部材について検討することとし、室内側のスラブ(水平部材)と壁(垂直部材)を想定した試験体により実験を行なった。スラブ厚8,12,16cm、壁厚10,15,20cmの3種類ずつとし、コンクリートは、バッチ差を無くするためにレミコン(普通ポルト、川砂利(ρ=2.62)山砂と海砂の混合(ρ=2.66)、AE剤を使用、W/C:57.5%、SL:21.0cm、Air:3.8%)により同時に打込んだ。試験時には、試験体の両加圧面をイオウキャッピングし、枚令3ヵ月、6ヵ月、1年、2年に圧縮強度と枚令2年では静ヤング係数(圧縮強度の1/3の応力度における割線ヤング係数)も測定した。

【Bシリーズ：型わく存置期間の影響】コンクリート打込み後の初期の乾燥による影響を検討するために、室内側の垂直部材の壁と柱状態について実験を行なった。Aシリーズ同様、レミコン(普通ポルト、山砂利と陸砂利の混合(ρ=2.60)、山砂と川砂の混合(ρ=2.61)、AE剤を使用、W/C:55.0%、SL:21.5cm、Air:3.1%)により同時に打込んだ。試験体は打込み後直ちに全面封かんし、枚令1日で圧縮強度73%が確認されたので、壁状態は両側面のみを1・2・3・4・5日目に、柱状態は4側面のみを1・3・5日目にそれぞれ脱型し、室内気中に放置して枚令4週、3ヵ月、6ヵ月、1年、2年に乾燥程度(内部相対湿度と湿潤係数)と圧縮強度、静ヤング係数を測定した。柱状態は、10×20cmのコアにより試験した。

【Cシリーズ：打込み時の骨材吸水率の影響】以前行なった予備実験の結果、特に人工軽量骨材の打込み時の吸水量がコンクリートの強度性状に影響を及ぼす若干の結果¹⁾が得られたので、本実験では打込み時の粗骨材の吸水率を3種(12.0,18.7,25.8%)に変えた人工軽量骨材と普通骨材(吸水率2.08%)を使用し、乾燥による性状変化を受けやすいと考えられる薄い部材のスラブと壁を想定した試験体及び乾燥の速い全面脱型試験体を、比較的乾燥している気中と85%湿空气中に放置して比較した。コンクリートは、普通ポルト、海砂(ρ=2.79)を使用しW/C:60.4%、単位水量:169kg/m³と一定でSL:20cmである。なお、吸水率12.0,18.7%の軽量骨材は、異なる気乾状態のものを打込み前に1日間吸水し、吸水率25.8%の骨材は「ソリュエーション」状態のものをそのまま使用した。枚令4週、3ヵ月、1年、2年に内部相対湿度と圧縮強度・静ヤング係数を測定した。

3. 結果及び考察

【Aシリーズ：部材厚の影響】 ■部材厚の差によるコンクリート内部相対湿度の経時変化を、図1に示す。部材が薄い場合(スラブ厚8cm、壁厚10cm)は、乾燥速度が速く枚令6ヵ月では50%前後まで乾燥しており平衡状態に達している。壁厚10cmと20cmの湿度差は、表面部で最大約15%RH、中心部で最大約23%RHもあり、例えば内部相対湿度が70%RHに達する枚令と比較すると、表面部では約3ヵ月、中心部では約8ヵ月程度の差がある。スラブ厚8cmと12cmの差でもほぼ同様の傾向があり、70%RHに達する枚令では表面部で約40日、中心部では

約6桁程度の差がある。■圧縮強度試験結果を図-2に、またこれを各桁令における部材厚の差として図-3に示す。スラブ状態の大部分および壁状態の薄い場合(10cm厚)では、およそ3ヶ月で強度が最も大きくなっており、その後低下しているが、壁状態の厚い場合(15,20cm)では、桁令6ヶ月で最も大きくなっており、部材および部材厚によって傾向が異なる。いずれの部材も厚い方が圧縮強度が大きく、スラブ状態の8cmと16cmの差では最大49 kg/cm^2 (桁令3ヶ月)、壁状態の10cmと20cmの差では最大82 kg/cm^2 (桁令6ヶ月)にも達しているが、桁令2年では厚い部材の方にも強度低下が現われ、その差はスラブ状態で21 kg/cm^2 、壁状態で35 kg/cm^2 となっている。このコンクリートは、設計基準強度210 kg/cm^2 程度(4週標準水中=246 kg/cm^2)であるが、桁令2年では壁厚20cmのみが210 kg/cm^2 を上回っている。

以上のように、乾燥程度がほぼ平衡状態まで近づき、部材厚によってほとんど差がなくなってきた桁令2年においても圧縮強度にはスラブ壁の8~10cm程度の部材厚の差により21~35 kg/cm^2 程度の差が認められ、また桁令2年の静ヤング係数はすべて1.7 $\times 10^5$ 以下と小さく、部材厚による差も大きくない。

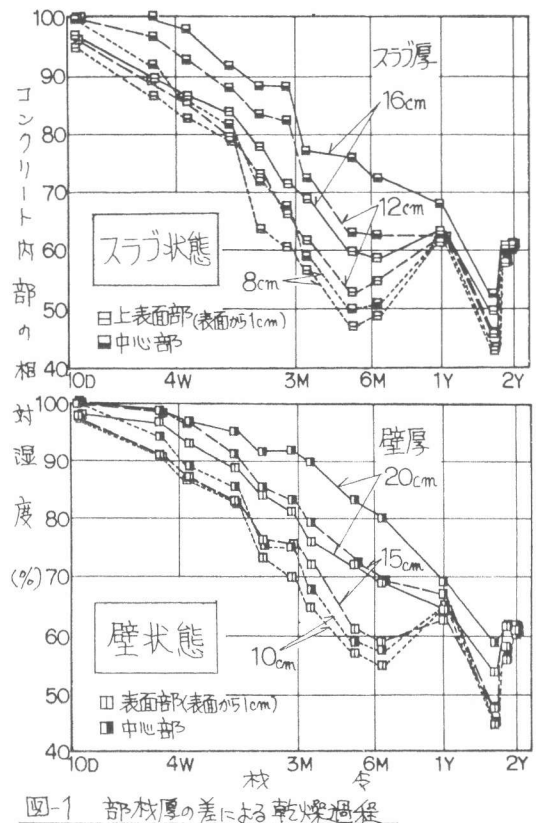


図-1 部材厚の差による乾燥過程

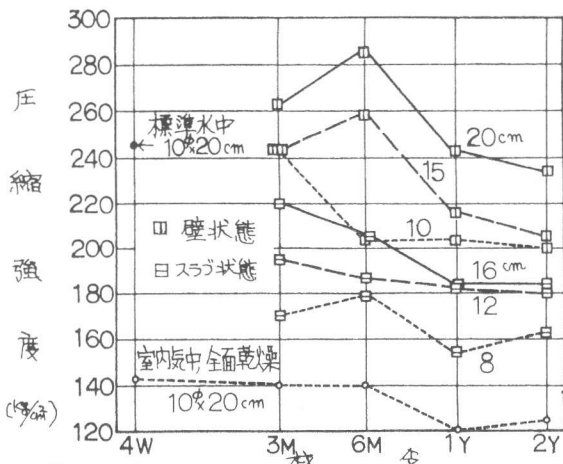


図-2 部材厚の差による圧縮強度の変化

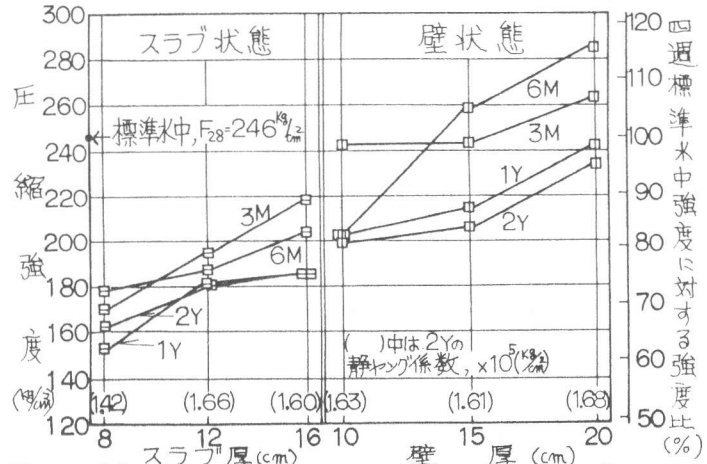


図-3 各桁令における部材厚の差による圧縮強度

【Bシリーズ：型わく存置期間による影響】 ■型わく存置期間の差による乾燥過程を図-4に示す。存置期間の短いものほど乾燥速度が速く、1日と5日では初期桁令には湿潤係数の差で12%程度に大きいですが、4週桁令以後は、その差が小さくなり、2年では5%程度になっている。型わく存置期間の短いコンクリートは、水和による内部組織もまだ緻密でないために乾燥しやすい状態になっていると考えられる。■圧縮強度、静ヤング係数測定結果を各桁令における型わく存置期間の差として図-5に示す。型わく存置期間による圧縮強度の差は、壁状態では明瞭であり、型わく存置期間の長いほど強度が大きい傾向にある。最も大きい強度差は、桁令3ヶ月の1日と5日の差で48 kg/cm^2 である。この差は、桁令1年及び2年ではやや小さくなり、それぞれ23、

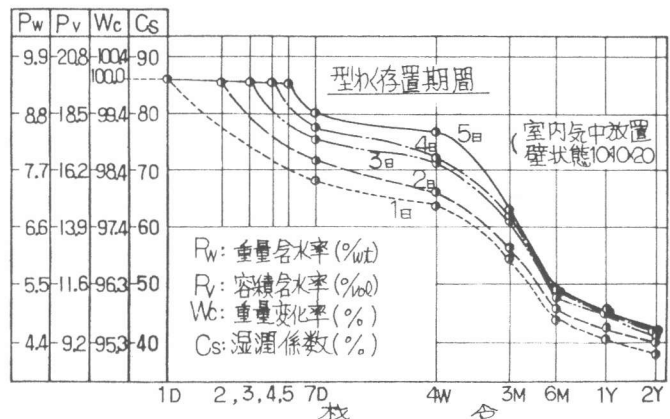


図-4 型わく存置期間の差による乾燥過程

28 kg/cm²である。柱状態においては、枚令4週では存置期間による差は明瞭であり、1日と5日の差で60 kg/cm²と大きい。その後の枚令では差は少なくなり、枚令1年では12 kg/cm²である。

以上のように、型わく存置期間による強度の差は、乾燥の遅い柱状態よりも部材の薄い壁状態の方が脱型による乾燥の影響を受けやすく、乾燥程度がほぼ平衡状態に達している枚令2年でも型わく存置期間の差により28 kg/cm²程度の差があり、また柱状態枚令1年でも12 kg/cm²程度の差が認められる。

一方静ヤング係数は、乾燥に伴ない低下する傾向が明瞭であり、壁状態・柱状態ともに試験枚令の中では最も湿潤状態にある枚令4週に最大値を示し、枚令1年及び2年では壁状態・柱状態ともに $1.3 \sim 1.5 \times 10^5$ kg/cm²に低下している。また、比較的湿潤状態にある初期には、存置期間の長いほど静ヤング係数も大きく、最も大きい差では壁状態の枚令4週の1日と5日の差で 0.31×10^5 kg/cm²となっている。

以上のように、型わく存置期間による静ヤング係数の差は、比較的湿潤状態にある4週枚令程度においては傾向も明瞭でその差も大きい。乾燥が進むと枚令2年ではその差が $0.1 \sim 0.2 \times 10^5$ kg/cm²程度に小さくなる。

【Cシリーズ：打込み時の骨材吸水量の影響】 ■打込み時の粗骨材吸水量の差によるコンクリート内部相対湿度の経時変化を図-6に示す。乾燥気中に放置した中では、吸水量の少ない普通骨材(吸水率2.08%)を用いたものが最も乾燥が速く、次いで、吸水率12.0、25.8%の軽量骨材を使用したものの順であり、吸水率の大きい骨材を使用したものほど乾燥が遅い。枚令3カ月前後の乾燥気中では、普通骨材と吸水率25.8%のフローエッチング状態の軽量骨材使用の差により、壁状態の中心部では最大20%RH、スラブ状態の中心部では最大30%RHの湿度差を生じている。しかし、枚令1年以後はその差がほとんどなくなる。一方、85%RH湿気中では、普通骨材を使用したものが乾燥速度が速い傾向にあるが、あまり明瞭な差はなく、乾燥速度の差は小さい。

このように、特に乾燥気中において打込み時の骨材吸水量と乾燥速度は、密接な関係がある。

■圧縮強度と静ヤング係数の測定結果を使用骨材毎の4週標準水中に対する比で図-7に示す。乾燥気中では、打込み時の骨材吸水量の差による乾燥の差がほとんどなくなった枚令1年以後にお

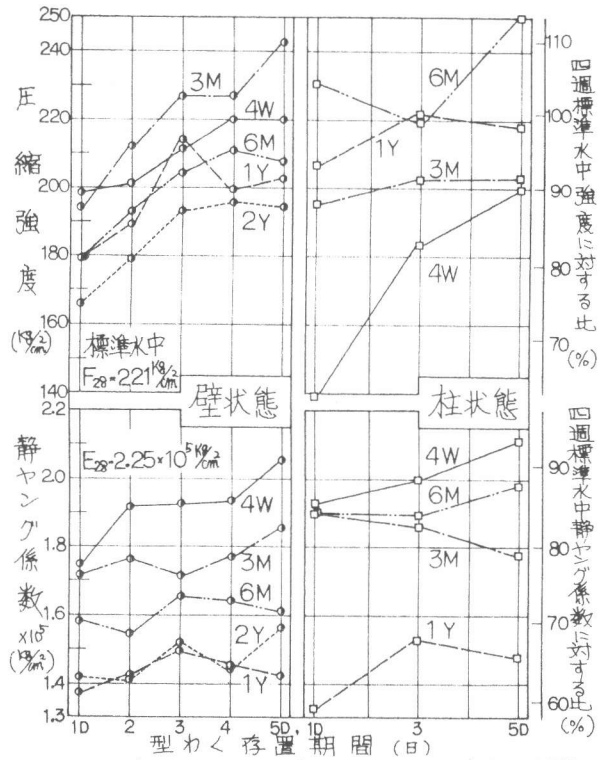


図-5 各枚令における型わく存置期間の差による強度・静ヤング係数

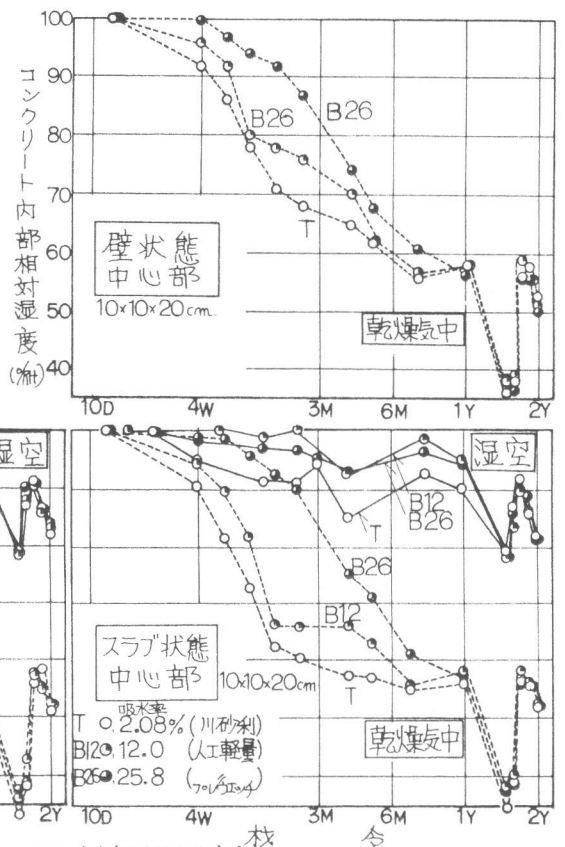


図-6 打込み時の粗骨材吸水量の差によるコンクリート内部相対湿度変化

ても強度比に差が認められる。

表-2は、枚令2年の普通骨材と吸水率25.8%の軽量骨材を使用したものについて、まとめたものである。たとえば、普通骨材を使用したものは、枚令2年(乾燥気中)では、強度比で53~68%(133~171 kg/cm²)と標準水中の1/2~2/3であり、強度そのものが低いが、吸水率25.8%の軽量骨材を使用したものは強度比で93~102%(201~221 kg/cm²)と、標準水中にほぼ等しい強度を示し、強度比および強度に明瞭な差がみられた。特にスラブ状態は、他の部材に比べ骨材吸水量による差が大きく、強度比で49%の差がある。

また、湿空中では普通骨材を使用したものは、強度比で97~106%(243~267 kg/cm²)、吸水率25.8%の軽量骨材を使用したものは、強度比で143~147%(308~318 kg/cm²)と、その差は乾燥気中と同程度にみられる。

一方、静ヤング係数は、乾燥気中では静ヤング係数比に明瞭な差がみられる。たとえば、枚令2年の乾燥気中では打込み時に吸水率25.8%の軽量骨材を使用したものは、静ヤング係数比で75%(1.5×10^5 kg/cm²)前後であるが、普通骨材(吸水率2.08%)を使用したものは、静ヤング係数比で60%(1.6×10^5 kg/cm²)前後である。静ヤング係数は、およそ同強度ならば、普通骨材を使用したコンクリートは、軽量骨材を使用したコンクリートよりも大きな値を示すが(本実験では標準水中、 $E(\text{普通})=2.61 \times 10^5$, $E(\text{軽量B26})=1.99 \times 10^5$ kg/cm²)乾燥気中における普通コンクリートの静ヤング係数は、前述のように軽量コンクリートと同程度の 1.6×10^5 kg/cm²まで低下している。85%湿空中の枚令2年においては、普通骨材を使用したスラブ状態のものが、静ヤング係数比で89%と低下しているのを除けば、打込み時の骨材吸水量による差はあまり認められず、4週標準水中静ヤング係数値とは同程度を示している。

以上をまとめ、打込み時の骨材吸水量の差による乾燥の差がほとんどなくなった枚令1,2年において、4週標準値に対する比とコンクリート試験体の表面部・中心部の相対湿度(±1%程度の範囲にある)の平均との関係を、打込み時の骨材吸水率毎に近似曲線で表わしたのが図-8である。これによると、軽量骨材B26を使用したものは、B12よりも強度比で約20%大きく、また普通骨材Tを使用したものより約40%大きい。また、静ヤング係数比は、強度比に比べその差は小さいが、乾燥している場合には20%近くの差がある。

以上のように、打込み時の軽量骨材中の水は、特に乾燥する場合に養生水として水和作用に有利な影響を及ぼし、その強度・静ヤング係数の低下率は少なく、普通骨材使用の場合と大きな差がある。

(参考文献) 長谷川, 他2名: 七技年報XXX, 1976, P320~

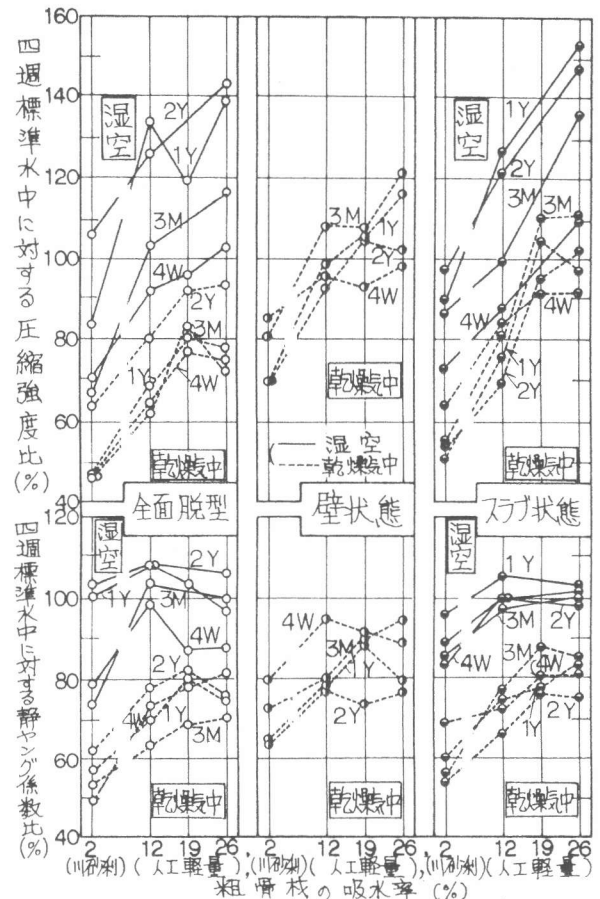


図-7 4週標準水中に対する圧縮強度比・静ヤング係数比

表-2 普通骨材と吸水率25.8%の軽量骨材を使用したコンクリートの4週標準水中に対する枚令2年の強度比(強度)の比較

| 場所 | 脱型状況 | A 普通骨材 吸水率 2.08% | B 軽量骨材 吸水率 25.8% | B-A |
|------|-------|---------------------|---------------------|------------|
| 乾燥気中 | 全面脱型 | 63.7% (160) | 93.1% (201) | 29.4% (41) |
| | 壁状態 | 68.1 (171) | 102.3 (221) | 34.2 (50) |
| | スラブ状態 | 53.0 (133) | 102.3 (221) | 49.3 (88) |
| 湿空 | 全面脱型 | 106.4 (267) | 142.6 (308) | 36.2 (41) |
| | スラブ状態 | 96.8 (243) | 147.2 (318) | 50.4 (75) |

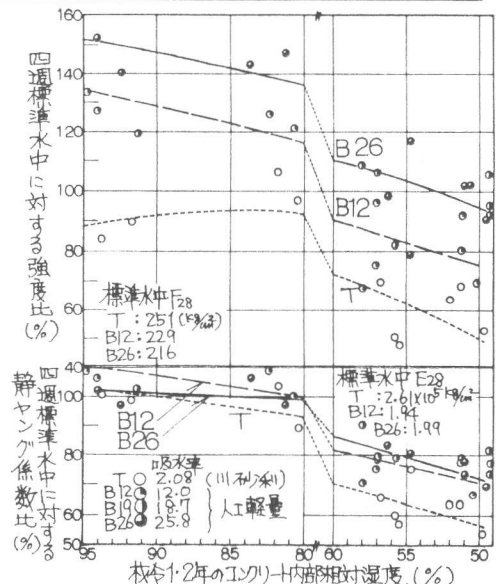


図-8 打込み時の骨材吸水量による長期の強度ヤング係数比