

[1052] コンクリートの品質特性に及ぼす脱型時期の影響

正会員 浦 憲親 (金沢工業大学)

1. はじめに

日本海沿岸地方の気象の特徴は、天候の変わりやすさである。曇り空が急に晴れたり、一転して雨になったりする。気温の日較差も大きい。このような地方におけるコンクリート工事は、打ち込みはもとより、その後の養生及び型わくの脱型には、とくに注意が必要である。

石川県金沢市は、前述のような気象条件下にあり、<sup>1)</sup> 平年の気象は、気温14.0℃、相対湿度76%、日降水量10mm以上が87日を数える。

本論文は、気象変化の著しい日本海沿岸地方のコンクリート工事において、<sup>2)3)4)</sup> 型わくの脱型時期が、その耐久性に如何なる影響を及ぼすのかを定量的に把握することを最終目標として行なった基礎的実験結果である。

2. 実験概要

2.1 実験の組み合わせ

型わくの脱型は、コンクリートの打ち込みから14, 24, 48, 72, 144 及び 216時間の6種類、試験材令は28, 90, 180 及び 365日の4種類とした。なお、材令28日については標準養生(水中: 20±3℃)も加えたが、他は、居室内に設置した恒温恒湿室(温度: 20±3℃、湿度: 60%RH、炭酸ガス濃度: 300~350ppm)での乾燥状態で養生した。

2.2 実験材料

セメントは、市販の普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材(比重: 2.58, Max: 5mm, F.M.: 3.02)及び粗骨材(比重: 2.61, Max: 25mm, F.M.: 6.65)は、いずれも石川県手取川産の川砂、川砂利で、それぞれ表乾に近い状態で使用した。

2.3 コンクリートの調合、供試体の製作及び重量測定

コンクリートの調合は、水セメント比55%, スランプ20cm, 空気量1%のプレコンクリートで試し練りにより決定した。

試験体の作り方は、関連のJIS規格に準じ、φ10×20cmの鋼製型わくを用いて製作した。重量は、脱型時と圧縮試験時にて測定したのち、 $W = W1 - W2 / W1 * 100$ に

より重量減少率を算出した。

W: 重量減少率(%) W1: 脱型時の重量(g)

W2: 圧縮試験時の重量(g)

2.4 動弾性係数、超音波伝播速度、

圧縮強度及び静弾性係数

動弾性係数は、JIS A 1127に従って、縦振動から求めた。

超音波伝播速度(パンジット:C.N.S.)

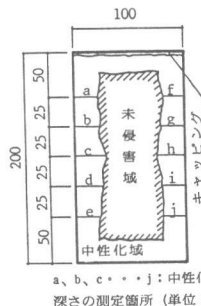


図-1 中性化深さの測定箇所

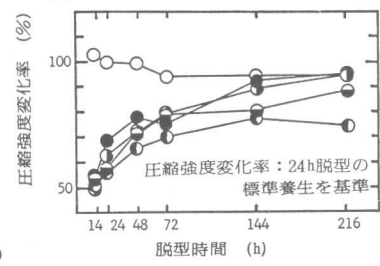
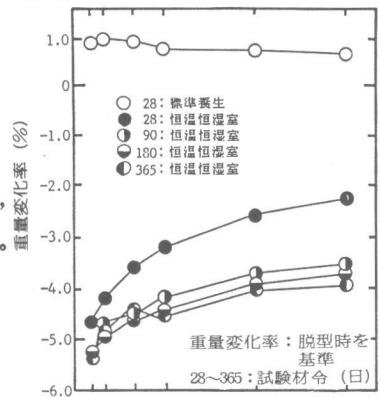


図-2 脱型時間と変化率

Instruments 社製) は、ジルコン酸チタン酸鉛(PzT-4) セラミック製の200KHzトランジューサーを用いて直接法で超音波伝播時間を測定し、 $V_p=L/T$ により算出した。

$V_p$ : 超音波伝播速度(m/s) L: 供試体の長さ(cm)

T: 超音波伝播時間( $\mu$ s)

圧縮強度試験は、JIS A 1108に準じて行ない、同時にコンプレッソメーターを用いて歪をX-Yレコーダに記録し、最大応力の1/3で静弾性係数を算出した。

### 2.5 中性化の測定

試料は、材令180及び365日で圧縮強度試験を終了したものを割裂し、断面の一方に1%フェノールフタレインエタノール溶液(JIS K 8006)を噴霧したのち、図-1に示す10箇所での表面から紅色着色部までの平均距離を測定した。これを、中性化深さとしたが、初期材令では、僅かなことから誤差も多いため測定を避けた。中性化率は、 $C_p=Ca/Sa*100$ により算出した。

$C_p$ : 中性化率(%) Sa: 供試体の全断面積( $cm^2$ )

Ca: 中性化部分の面積( $cm^2$ )

### 2.6 細孔径の測定

試料は、材令365日で中性化深さの測定に用いた割裂断面の一方を利用し、高さのほぼ中央で、深さ10及び50mm前後から粗骨材を含まないように粒径2.5~5mmに破碎したものを採取した。

次に、試料をアセトン中で洗浄した後、乾燥処理し、水銀圧入ポロシメーター(Calro Erba社製 220型)を用いて、細孔半径37.5~75000Åの範囲について細孔径を測定した。

総細孔量は、10mmと50mm部分の細孔量を加起来平均したものである。

## 3. 試験結果及び考察

### 3.1 脱型時間と変化率、重量減少率と性状

図-2には、脱型時を基準の重量変化率と24時間で脱型の後、標準養生した試料を基準とした圧縮強度変化率を示す。

重量変化率は、標準養生で72時間脱型、乾燥状態で144時間脱型からほぼ一定値に近づく。また、乾燥状態においては、材令28日から90日で1~1.5%低下するが、その後は、殆ど変わらない。しかし、14時間脱型と216時間脱型の差は、1~3%と大きいので初期において十分保護する必要があると言える。

圧縮強度変化率は、標準養生の場合、脱型時間が72時間より遅れるとほぼ一定する。乾燥状態では、脱型時間の遅いほ

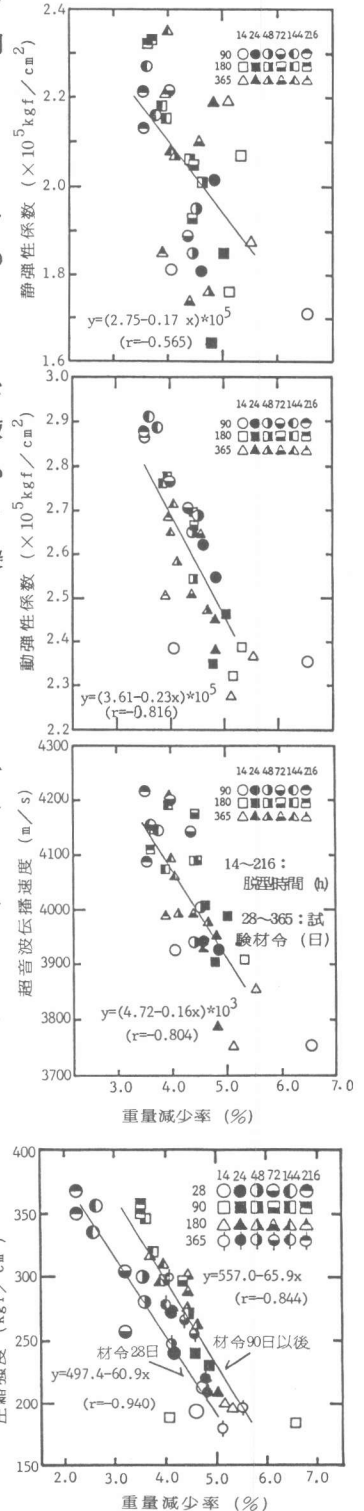


図-3 重量減少率とコンクリートの性状

ど標準養生の変化率に近づく。これは、初期での水分の供給・保持が極めて重要なことと、養生によっては、強度回復が望めない脱型時間も存在することを示す。

図-3には、重量減少率とコンクリートの性状の関係を示す。

圧縮強度は、養生期間の違いによって異なり、材令28日と90日以後とでは別々の傾向を示すが、重量減少率との関係を線形とみなすと相関係数  $r = -0.94$  と  $-0.84$  で相関性は高いといえる。他の性状は、90日以後の結果について検討したが、圧縮強度のそれと同様に動弾性係数、超音波伝播速度及び静弾性係数で  $r = -0.81, -0.80$  及び  $-0.56$  となる。静弾性係数は、他の性状に比べて脱型時間の違いによる乾燥の影響が顕著に現われるため、脱型の早い場合には、とくに注意する必要がある。また、鉄筋コンクリート構造計算基準等では、静弾性係数  $2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  を定数としているが、本実験の範囲でその値を示すのは、脱型を144時間以上遅らせた場合で、その時の重量減少率は4%未満を示す。

重量減少率と破壊及び非破壊試験結果との間には、負の相関がみられることから骨材及びコンクリートの種類、材令を限定すれば、高い相関関係が得られるものといえる。超音波伝播速度は、コンクリートの性状を評価する一つの方法として十分利用できよう。

### 3.2 脱型時間と細孔径分布、総細孔量と性状

図-4に、脱型時間が異なる採取部位別の細孔径分布、図-5には、総細孔量とコンクリートの性状について示す。

細孔量は、試料の採取部位によって異なり、内よりも外の中酸化部分の方が多くなる。細孔径

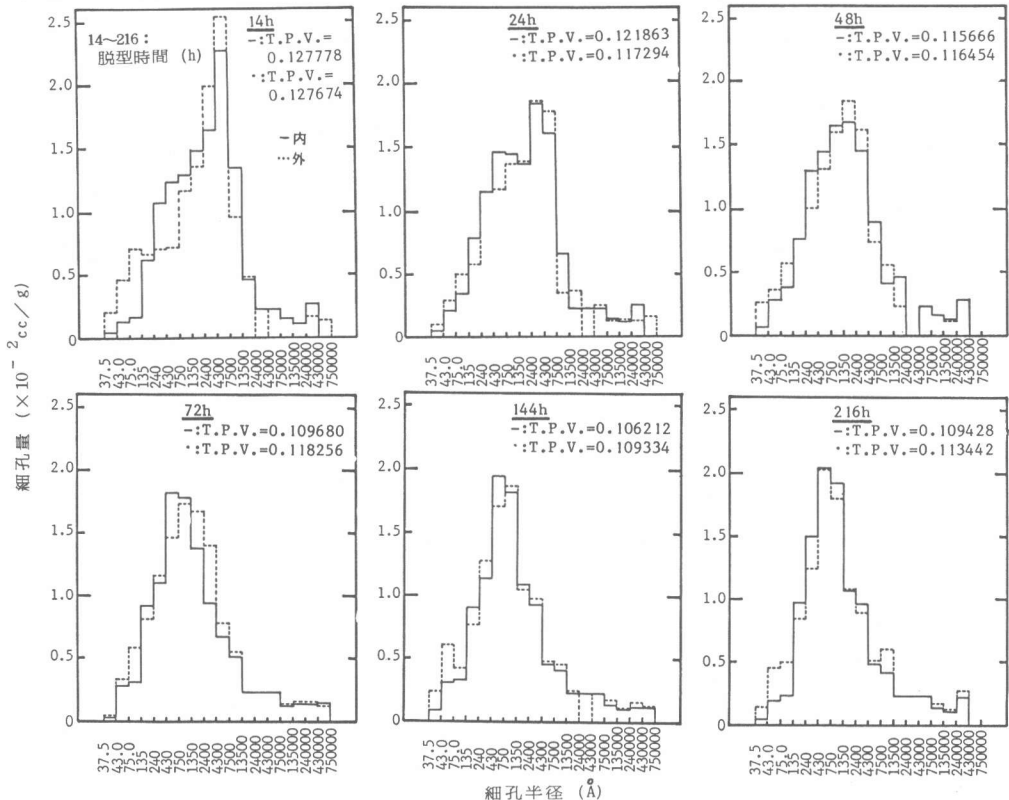


図-4 脱型時間が異なる採取部位別の細孔径分布

分布は、細孔半径 240~7500 Å の範囲では大きくなるが、脱型時間が遅くなると細孔径分布と最大値は、細孔半径の小さい方へと移動する。細孔半径 240 Å 未満の累計は、脱型時間及び採取部位にかかわらず約 0.016cc/g で一定し、重量減少率、中性化率、動弾性係数、圧縮強度及び超音波伝播速度とは全く関係を示さなかった。しかし、240 Å 以上の累計では、図-5 と同様な傾向を示した。

総細孔量は、脱型時間が早いほど多く、14時間脱型と 216 時間脱型では15%前後の差を生じる。コンクリートの性状と総細孔量の相関係数は、回帰式を  $y = a + bx$  とみなすと重量減少率、中性化率、動弾性係数、圧縮強度及び超音波伝播速度で  $r = 0.96, 0.90, -0.98, -0.97$  及び  $-0.92$  と良く、高い相関性が得られた。しかし、静弾性係数の場合は、 $r = -0.62$  と小さく、材令初期での脱型が影響していることを示している。

したがって、得られた回帰式を用いれば、日本海沿岸地方の環境で利用もしくは放置されているコンクリート構造物の品質について、ある程度予測することが可能であるといえる。

### 3.3 脱型時間と中性化深さ

図-6には、日本海沿岸の平年の気象よりも、僅かに高温低湿な乾燥状態で養生した脱型時間と材令別の中性化深さについて示す。

一般に、中性化深さは、乾いたコンクリートの方が湿ったものより早いことが知られている。本実験においても、14~216 時間で脱型した場合、材令180日で5.6~2.1mm、材令365日で7.3~3.3mmとなり、脱型時間の遅い方が中性化深さが浅い。中性化は、材令180日まで急速であるが、その後は、僅かずつしか進まないようである。

また、中性化は、図-1に示すφ10×20 cm程度の試料であっても、概ね試験体製作時に打ち足し部分となる2層目のc-hより上の方が進み、材令1年でも脱型が72時間以内の場合は高さ方向での影響が見られる。しかし、脱型を144時間以上遅らせると打ち足し等の初期欠陥の弊害が、ある程度抑制されるようである。

中性化についての実用的な提案は、促進試験及び実際の調査結果から浜田<sup>6)</sup>、岸谷<sup>7)</sup>及び依田氏<sup>8)</sup>によってなされ、 $\sqrt{t}$ 則を基に  $C = A \sqrt{t}$  の回帰式で表わされている。この関係は、時間  $t$  が年数という大きな単位であることが特徴で、中性化が鉄筋の発錆を促し、それがコンクリート構造物の寿命と考えるならば、脱型時間が早いほど進行することになる。

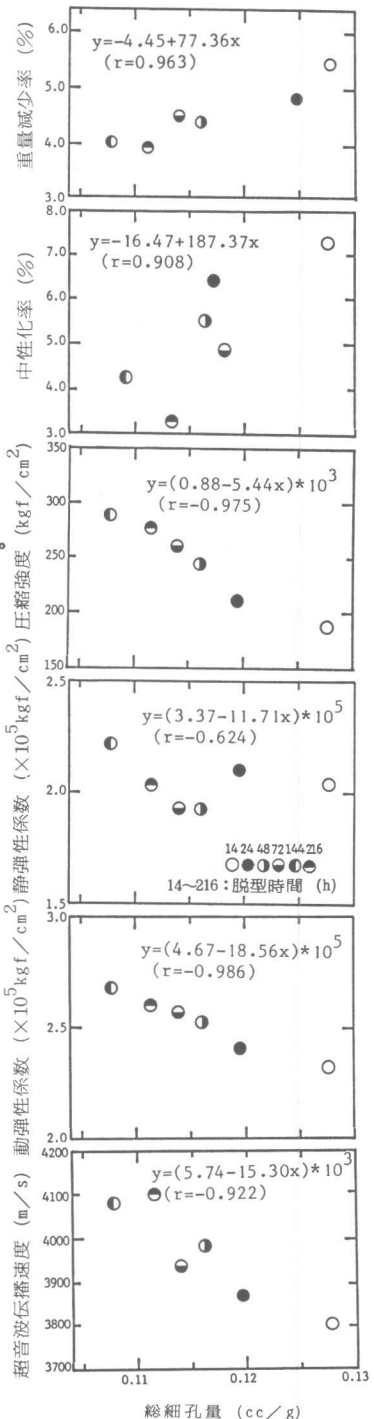


図-5 総細孔量とコンクリートの性状

そこで、試料も少ないが、本実験において  $C = A \sqrt{t}$  式が成り立つと仮定し、脱型時間ごとの中性化深さを代入することによって求めた結果、図-7及び表-1から、評価を試みた。

それによると、時間  $t$  は、中性化深さに関係なく一定であることから、定数  $A$  は、脱型時間が遅くなるほど小さくなり、216 時間では、14時間脱型の1/2 以下を示した。

因に、仕上げなしのかぶり厚さ ( $C$ ) 30mmが中性化するのに要する年数 ( $t$ ) は、脱型時間14, 24, 48, 72, 144 及び 216時間で、それぞれ17, 23, 30, 38, 54及び87年となり、材令初期での型わくによる保護が中性化の抑制に極めて効果のあることが明らかである。

これは、表面保護が長く続くことによって水和が進行するので、表層部分の細孔組織も材令とともに密実となることから、 $CO_2$  の侵入が抑えられるためといえる。

したがって、表面仕上げ等の対策を施さない場合、少なくとも6日間は、積極的に型わくで保護した方が初期欠陥の弊害も抑制されることから、耐久性の確保に効果的といえる。

### 3.4 中性化率と脱型時間、性状

図-8には、中性化率と脱型時間の関係を示す。

両者の関係は、脱型時間が同じであっても材令が異なると一つの曲線上にのせることが困難で、両対数座標上で直線となり下式で示される。

$$Ca = a * k^b$$

Ca: 中性化率(%)      k: 脱型時間(h)      a, b: 実験定数

図-9には、中性化率とコンクリートの性状の関係を示す。

中性化率は、脱型時間が早いほど大きくなるが、圧縮強度、動弾性係数及び超音波伝播速度は小さくなり、それぞれについて、本実験の回帰の基本式を  $y = a + b x$  で表わした。相関係数は、試験材令によって異なるが、180 日で  $r = -0.91 \sim -0.97$ 、365 日で  $r = -0.90 \sim -0.94$  を示した。

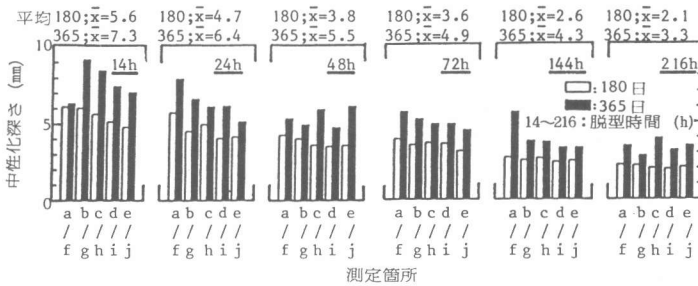


図-6 脱型時間と材令別の中性化深さ

表-1 定数Aと30mm中性化の年数t

h	A	r	C (mm)	t (year)
14	7.4	0.997	30	17
24	6.4	0.999		23
48	5.5	0.999		30
72	4.9	0.999		38
144	4.2	0.993		54
216	3.2	0.996		87

h: 脱型時間  
r: 相関係数  
C: 中性化深さ

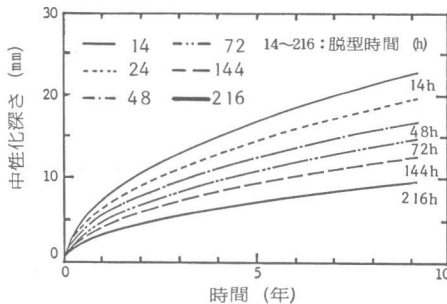


図-7 中性化深さと時間

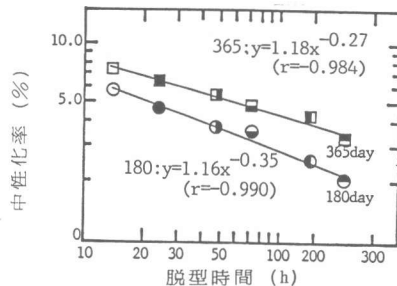


図-8 中性化率と脱型時間

重量減少率の場合、前者で  $r = 0.99$ 、後者で  $r = 0.95$  と良く、相関性は高いと言える。

とくに、超音波伝播速度は、コンクリートの性状との関係を蓄積することによって、年数を経過した部材の耐久性を評価する一つの指標として、今後は、十分利用できるものと考えられる。

#### 4. 結論

日本海沿岸の平年の気象に近い環境条件下で実施した、脱型時間の異なるコンクリート実験の結果をまとめると次の様になる。

1) 細孔量は、供試体の表面ほど多く、脱型時間が遅くなると減少し、細孔径の分布及び最大値は細孔半径の小さい方へと移る。また、細孔半径  $240 \text{ \AA}$  以上において、細孔量と重量減少率、中性化率、動弾性係数、圧縮強度及び超音波伝播速度とは比例関係を示すが、 $240 \text{ \AA}$  未満とでは全く示さない。

2) 中性化は、脱型時間が早く、試験材令の遅い程大きくなるが、少なくとも 144 時間以上保護を行えば材令初期での脱型が部材に及ぼす影響は小さくなる。中性化率は、重量減少率、動弾性係数、圧縮強度、超音波伝播速度及び総細孔量とは密接な関係を示す。

3) 年数を経過したコンクリートの性質をより精度よく推定するには、脱型時間について更に検討する必要がある。超音波伝播速度は、重量減少率、中性化率及び総細孔量と密接な関係を持つことから、資料を蓄積すれば実用的で簡便な方法として十分適用できるものといえる。しかし、静弾性係数は、養生中の乾燥の影響を受けやすく、測定の目安に使うことは危険である。

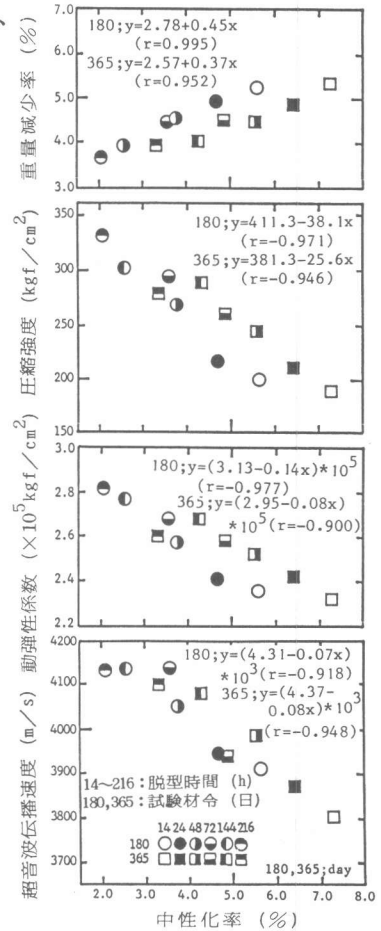


図-9 中性化率とコンクリートの性状

《 謝辞 》 本研究の細孔量測定を行なうに当たり、日本大学 渡澤正典先生の御協力を得ました。ここに、記して感謝の意を表します。

#### 《 参考文献 》

- 1) 東京天文台；理科年表，丸善，pp.189-257,1986.11.
- 2) セメント協会コンクリート専門委員会；初期の乾燥がコンクリートの諸性質に及ぼす影響，セメントコンクリート，No.466，pp.20-30,Dec.1985.
- 3) 笠井芳夫；極く早期脱型するコンクリートの強度に関する実験研究；日本建築学会論文報告集（その1）第179号，pp.17-23,Jan.1971.（その2）第180号，pp.7-12, Feb.1971
- 4) 日本建築学会；JASS 5，日本建築学会，pp.191-194,245-247,1986.9.
- 5) 高 英雄、和泉意登志、池田美和、浅井達也、押田文雄、川畑茂男；既存RC構造物におけるコンクリートの中性化と鉄筋腐食について（その1～3），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.201-206,1983.9.
- 6) 浜田 稔；コンクリートの中性化と鉄筋の腐食，セメントコンクリート，No.272,pp.2-18, Oct.1969.
- 7) 岸谷孝一；鉄筋コンクリートの耐久性，鹿島建設技術研究所出版部，1963.
- 8) 依田彰彦；高炉セメントコンクリートの中性化20年間自然暴露した結果から，セメントコンクリート，No.429,pp.26-32,Nov.1982.