

V-25

ポラスコンクリートの力学的および耐久性挙動について

北海道大学大学院 学生員 徳重英信

北海道大学工学部 正 員 佐伯 昇

北海道大学工学部 正 員 三上 隆

北海道大学工学部 正 員 志村和紀

はじめに

コンクリートは、近年その性質、用途に対してさらなる多様性を求められている。多種多様なニーズのもとで特殊コンクリートに関する研究が数多く行われているが、そのなかで著者らは、特に材料としてのコンクリートと自然環境との調和に着目し、現在まで透水性コンクリートの適用を試みている。透水性コンクリートはその多孔性により、諸性質が通常のコンクリートと異なることが予想され、実構造物に適用するにあたり、力学的性質の把握およびある程度の強度の増進、また耐久性に関する性質の確認が必要である。本研究では透水性コンクリートとしてポラスコンクリートを用い、透水性コンクリートを実構造物に用いるにあたり必要と思われる強度に関する実験、および耐久性の中で特に寒冷地では問題となる凍結融解下での変形挙動を把握するために実験を行った。

1 使用材料および配合

セメントは早強ポルトランドセメント、粗骨材は最大寸法15mm、FM=5.0のものを用了。また、混和剤としてスルホン酸系の高性能AE減水剤を用い、予備試験のものを含め、表-1に示す配合で供試体を作成した。なお、表中の空隙率は配合計算における目標空隙率である。

粗骨材の最大寸法や粒度分布を変えて、透水度を確保するものも既往の研究¹⁾な

表-1 供試体配合

	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨 材率 s/a (%)	空隙率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
1	15	30	25	18	93	310	422	1268
2	15	30	16	21	92	306	250	1350
3	15	30	0	27	84	280	0	1540
4	15	30	0	23	87	290	0	1590
5	15	25	15	23	76	306	250	1350
6	15	25	0	24	73	290	0	1590
7	15	27	24	23	74	310	422	1268
8	15	27	15	23	83	306	250	1350
9	15	27	27	17	84	310	472	1276
10	15	27	26	16	85	313	472	1304
11	15	27	27	16	86	319	497	1280
12	15	27	26	10	91	336	497	1407
13	15	27	30	7	93	346	602	1369
14	15	27	33	3	86	294	717	1410
15	15	27	33	5	96	355	676	1337
16	15	27	35	3	97	361	732	1325
17	15	27	18	14	83	306	245	1490
18	15	27	16	27	86	319	497	1280
19	15	27	14	33	102	377	676	1337

Behaviour of Dynamics and Durability Performance on Porous-concrete

by Hidenobu TOKUSHIGE, Noboru SAEKI, Takashi MIKAMI and Kazunori SHIMURA

どであるが、本研究では、細骨材率を変化させることにより透水係数の検討を行った。配合決定に際し細骨材率、セメントペーストと骨材の容積比 (p/a) に特に着目し、 $p/a=0.28$ を基準に配合を決定し、また練混ぜ、打設に際して比較的良好な状態であった $W/C=0.27$ を中心に用いた。

2 実験概要

振動可能なプレス版を併用できる、テーブル型外部振動機を用いて供試体を作成した。適切な透水係数を確保するために、予備実験として $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のシリンダーにより、打設時のパイプレータ振動時間、成形（プレス）回数を変化させ、脱型後の目詰まり（セメントペーストのたれ）、成形（締固め）の具合などを表－1中のNo.1～No.4の配合により検討を行った。この結果より、本実験の配合をNo.5以降に定めた。なお実験結果においては、特に目詰まりがひどかったものや、成形が十分に行われず施工不良とみられた結果は省いている。

2.1 透水試験

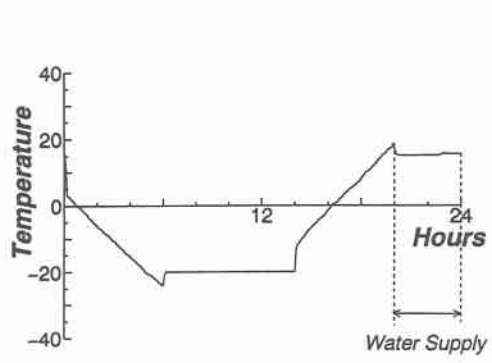
透水係数の測定は、既往の研究¹⁾を参考に $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の塩化ビニルパイプに直接打設し、JISに定められている土の定水位試験に準じて行った。

2.2 強度試験

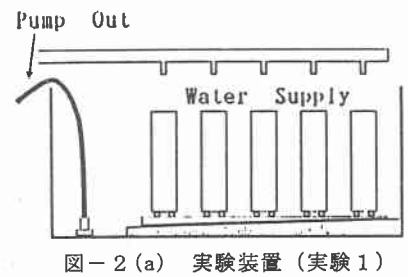
力学的挙動に関与するものとして基本的な圧縮に関する検討として、表－1中の配合ほとんど全てについて、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の供試体を用いて材令14日で圧縮強度試験を行い、またNo.17～No.19についてはコンプレッソメータにより弾性係数を測定した。

2.3 凍結融解試験

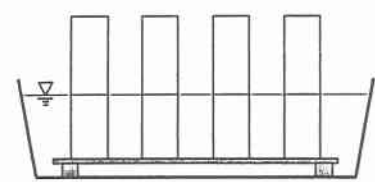
凍結融解試験は図－1のように気温 $20 \sim -20^\circ\text{C}$ を24時間で1サイクルとし、図－2(a)に示す融解時に水分（水温約 13°C ）を供給するシャワー方式（実験1）、図－2(b)に示すプール方式（実験2）で行った。供試体は、強度試験に用いたものと同様の方法で作成した $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱を用い、No.17～No.19の配合で作成した。この供試体により、動弾性係数、質量減少率、また供試体中心部に埋め込んだカールソントタイプのひずみゲージによるひずみを測定したが、本論文ではひずみ変化の測定結果についてのみ述べる。なお凍結融解試験は、早強セメント使用のため材令14日で開始している。



図－1 凍結融解時の気温変化



図－2(a) 実験装置（実験1）



図－2(b) 実験装置（実験2）

3 実験結果および考察

3. 1 透水係数に関する試験結果

前述したように、本研究では透水係数の変化に関して特に細骨材率、セメントペーストと骨材の容積比 (p/a) に着目した。図-3はNo.5～No.19の細骨材率 (s/a) と透水係数の関係である。 W/C は0.25～0.3と異なったものが含まれているが、ここで述べる透水係数は、透水性コンクリートの多孔性に寄与する連続空隙によるものであり、セメントペーストの透水係数に比べ非常にオーダーが大きく水セメント比の影響はないものと考えられる。このオーダーの透水係数に対して、細骨材率は非常によい相関を与えており、 p/a を変化させてもこの相関は変わらないことが確認された。これらの結果より、骨材の細粒分を増やすことにより、透水性コンクリート中の連続空隙の構造に影響を与え、透水係数を減少させる効果があることが判った。

3. 2 強度試験結果について

材令14日で行った圧縮強度試験結果についての考察を行う。

図-4は透水性に関しても大きく相関を持つ細骨材率と圧縮強度試験結果の関係である。一定の p/a において、細骨材率を上げると強度が低下するという結果となった。これは、細骨材率を増加させると骨材粒子の比表面積が増え、それにより骨材をとりまくセメントペーストの厚さが薄くなることが原因ではないかと思われる。ある程度の強度の確保に対して、細骨材率の高いものに対しては、図-4にみられるように p/a をある程度上げることが有効であると思われる。しかし予備実験からも比較的高い p/a においては、特に細骨材率の低いもの（透水係数の高いもの）に対して目詰まりの問

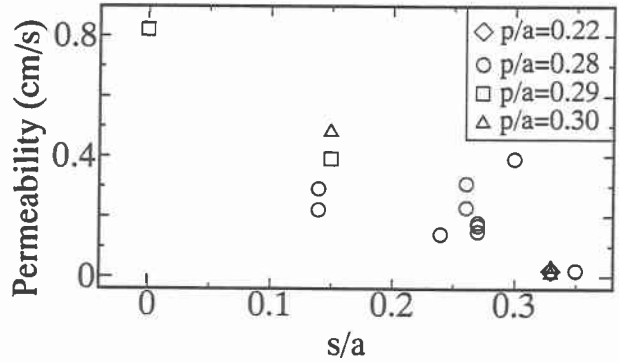


図-3 細骨材率と透水係数の関係

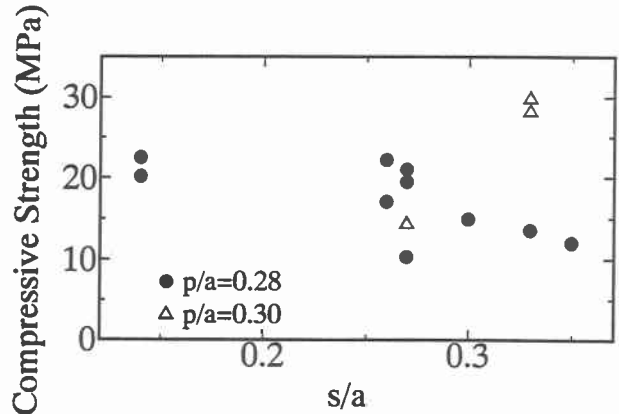


図-4 細骨材率と圧縮強度の関係 ($W/C=0.27$)

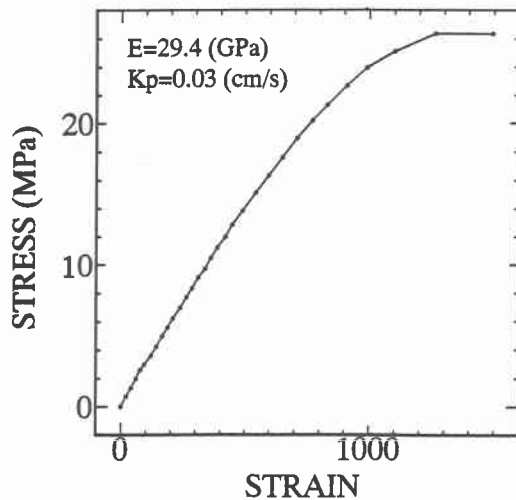


図-5 応力ひずみ曲線 (No. 19)

題があり、適切な p/a を選定する事が必要であると思われる。なお前述したように、この結果では目詰まりしたものなどを含め、施工不良と思われるものは省いている。

弾性係数の測定はNo. 17～No. 19について行った。図－5はNo. 19の応力ひずみ曲線であるが、他のものもこれと同様になめらかな曲線を描いており、透水性コンクリートの多孔性という構造に関係なく、圧縮強度、弾性係数共に通常のコンクリートと同様な意味を与えて良いものと思われる。

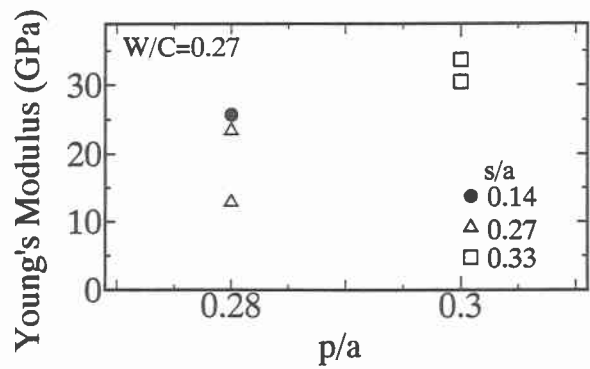
図－6は p/a と弾性係数の関係である。 p/a を増加させることにより、骨材表面のマトリックスの量が増え、弾性係数に対して大きく影響を与えているものと思われる。また図－7は圧縮強度と弾性係数の関係である。これより透水性コンクリートは圧縮強度の増加に対する弾性係数の増加分が、通常のコンクリートのそれよりも若干大きいと思われる。

以上のことより、透水性コンクリートは図－8のように低い透水係数では、 p/a を上げることにより圧縮強度はあがり、また通常のコンクリートと同様に弾性係数、圧縮強度による部材としての力学的挙動に対する評価は可能であると思われる。

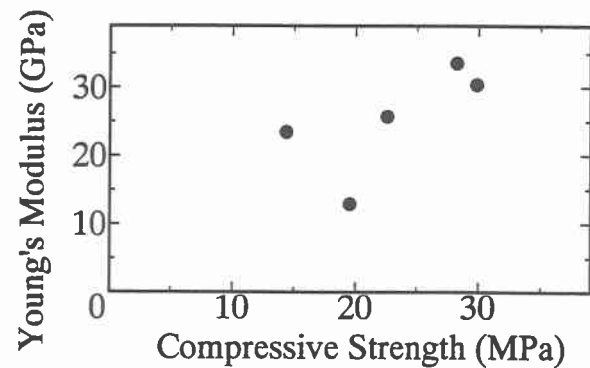
3. 3 凍結融解下のひずみ挙動

図－9、図－10はNo. 18の凍結融解下のひずみ挙動である。No. 17, No. 19ともに各サイクルでの挙動はほぼ同様のものであるので、ここではNo. 18の結果について述べる。

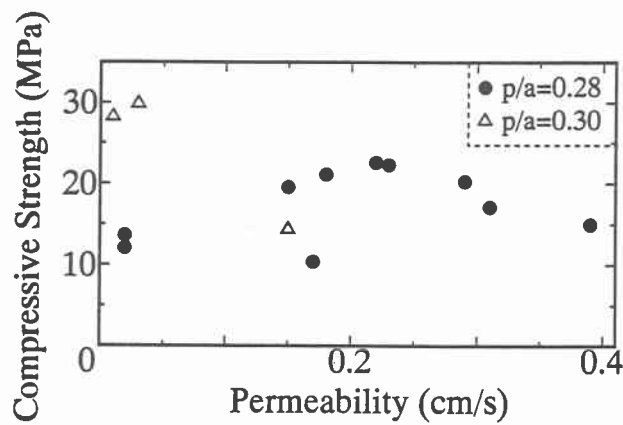
図－9は実験1による結果である。温度が降下するにつれ収縮側に値が変化し、著者らの既往の研究²⁾でみられた起泡コンクリートにおける0℃付近での温度停滞が顕著にみられ、ポーラ



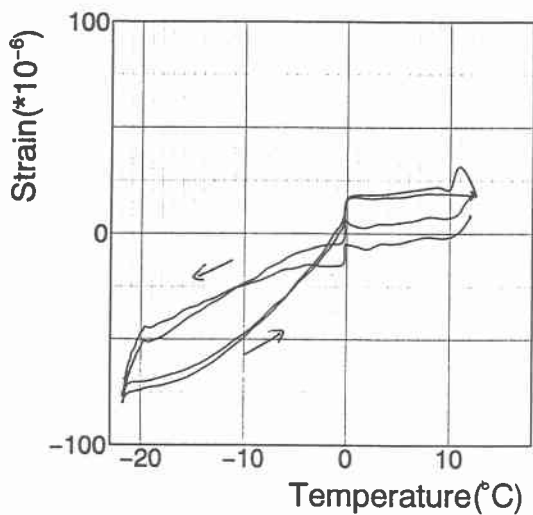
図－6 セメントペーストと骨材の容積比と弾性係数



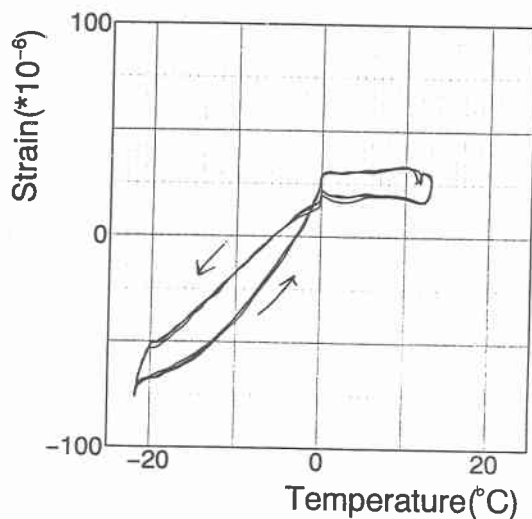
図－7 圧縮強度と弾性係数の関係



図－8 透水係数と圧縮強度の関係

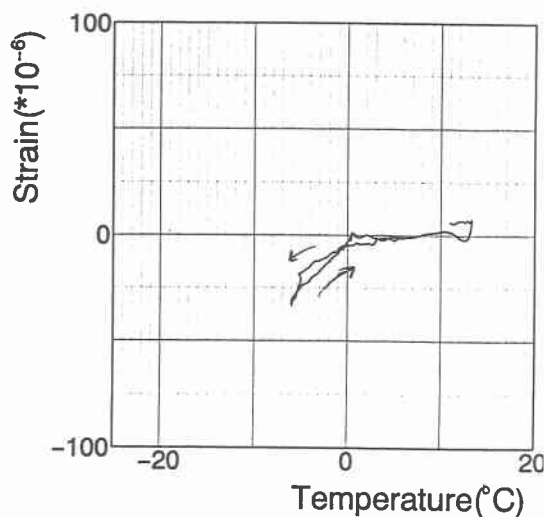


a) 0～3サイクル

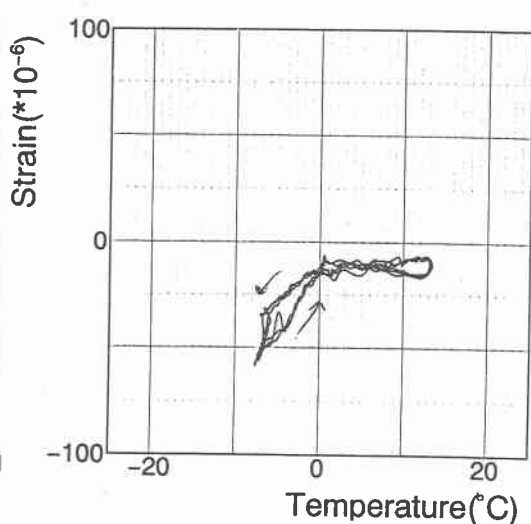


b) 21～23サイクル

図-10 凍結融解下のひずみ挙動 (実験2)



a) 0～1サイクル



b) 19～21サイクル

図-10 凍結融解下のひずみ挙動 (実験2)

スコンクリートにおいても同様な挙動が存在することが確認され、連続空隙内の氷晶形成による潜熱の影響がこの挙動に関わっているものと思われる。また、温度上昇時には、降下時の経路の傾きよりも若干大きめの傾きをもって値が変化し、サイクルが進むにつれ若干膨張側にひずみが残留している。図-10は実験2による結果である。凍結時には図-2 (b)中の水面下約5 cm程度まで氷結しているが、その下部は実験装置底部の温床線により水であるため、カールソントイプゲージで測定した温度は約-10℃までとなっている。恐

らくこのためにひずみの値は実験1のものより変化が小さいものとなっているものと思われ、また現段階では劣化は生じていない。各サイクルでの挙動は、0℃付近での温度停滞が実験1のものと比較してそれほど顕著でないが、温度上昇時には、温度降下時の経路の傾きよりも大きな傾きをもって値が変化しており、実験1のものと同様である。この挙動は、V.P.Grubl³⁾による氷とセメントペーストの線膨張係数差による劣化メカニズムの説明が適用できる可能性があると思われる。また、前述したこの挙動に対する潜熱の影響の可能性や撥水剤を用いたものの実験結果²⁾、透水性コンクリートがおかれる環境条件（特に水分の存在の仕方）によって、凍上現象に関する理論が適用できると考えられる。

まとめ

以上のことより、本研究では以下の事柄が分かった。

1. ポーラスコンクリートでは透水係数と細骨材率の相関が負の関係にあり、細骨材率の変化は透水性の推定に対して有効なパラメータである。
2. 比較的小さい透水係数において圧縮強度を確保するためには、セメントペーストと骨材の容積比を上げることが効果的である。しかしながら、高い透水係数（低い細骨材率）では締固め時の材料分離の傾向があり、適切な容積比（ p/a ）を設定することが必要であると思われる。
3. 透水性コンクリートはその圧縮強度および弾性係数を、通常のコンクリートとほぼ同様に扱うことが可能であり、部材としての力学的挙動の評価に対して十分に有効である。
4. 凍結融解下での挙動において、現在までの研究結果と同様な0℃付近での温度停滞、また温度降下時と上昇時のひずみ経路の相違より、氷とセメントペーストの線膨張係数差や凍上現象的な説明が有効であると思われ、今後これらの理論による検討が必要である。

以上のことに加え、透水性、強度に関する因子として影響を持つと思われる空隙構造に関する検討が、今後必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) M.Tamai; Properties of No-Fines Concrete Containing Silica Fume, ACI SP-114 Vol.2 pp.799-814, 1989
- 2) 徳重, 佐伯, 志村; 透水性コンクリートの耐凍害性挙動, セメント・コンクリート論文集 Vol.48 1994
- 3) V.P.Grubl; Über die Rolle des Eises im Gefüge zementgebundener Baustoffe, Beton 31(1981)H.2, S.54/58

謝辞

本研究を行うにあたり、信太敬貴氏（北海道大学工学部卒論生）、山田 茂氏（北海道ポラコン株式会社）に多大な御助力を得たことに感謝の意を表します。