

V-8 植生のための有効寿命を考慮した繊維補強ポーラスコンクリートの特性

北海道大学大学院 学生員 信太 啓貴
北海道大学工学部 フェロー員 佐伯 昇
北海道大学工学部 正 員 志村 和紀
秋田大学鉱山学部 正 員 徳重 英信

1. はじめに

近年、景観工学の進展によりコンクリートを用いた近自然工法等の自然にやさしいコンクリートの開発が進められてきている。本研究はFig1に示すように護岸ブロックに植生を施すことを想定し、植生が根づくまで破壊しないように、また根づいたあとにおいては劣化破壊するエココンクリートの開発を行った。この方法は短繊維で補強したポーラスコンクリートを用い短繊維を劣化させるものでこれにより有効寿命を設定した。実験は環境条件を変えて、有効寿命を測定するもので曲げ試験を行って実験的、及び解析的に評価したものである。

2. 使用材料及び配合

2. 1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は最大粒径7mm、F/M=5.63のものを用いた。短繊維は2種類とし、市販のEガラス繊維、鋼繊維とした。Eガラス繊維はアルカリによって劣化するチョップストランドで長さ25mm、径13 μ mのものを、鋼繊維は、長さ30mm、径0.6mmのものを使用した。

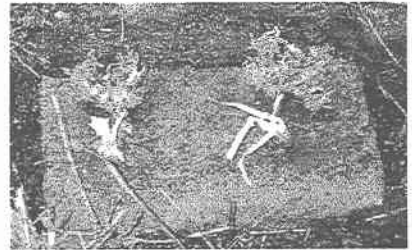


Fig1. 植生ポーラスコンクリート

2. 2 配合

配合は既往の研究¹⁾を参考にし、繊維混入率はコンクリート容積の0.5、1.0、2.0%とし、粗骨材と置き換えた。また、W/C=28%、p/a(ペースト骨材容積比)=32%、全体の空隙量=20%、マトリックス中の空気量=6.0%とした。

3. 練り混ぜ及び供試体作成法

3. 1 練り混ぜ

練り混ぜは強制二軸練りミキサーを使用した。順序はセメント及び粗骨材を2分間混ぜ、水を投入してさらに1分間練り混ぜる。最後に繊維を投入して30秒練り混ぜた。

3. 2 供試体作成法

供試体は圧縮試験、曲げ試験においてそれぞれ $\phi 10 \times 20$ cm、 $10 \times 10 \times 40$ cmの寸法のもので、プレス版を用いることができるテーブル型外部振動機を用いて作成した。作成方法は高さ10cmを1層とし、1層につき上端まで材料投入後3秒間締め固めを3回行い、その後締め固め及び供試体高さの3%のプレスを同時に3秒間3回行うこととした。尚、養生は20℃の水中養生とした。

Property For Effective Life Of Fiber Reinforced Porous Concrete For Planting
BY Hirotaka NOBUTA, Noboru SAEKI, Kazunori SHIMURA and Hidenobu TOKUSIGE

4. 実験概要

4. 1 圧縮試験

圧縮試験は、通常のコンクリートと同様にJIS A 1108-1976に準じて硫黄キャッピングを施して材令28日で行った。また、コンプレッソメータを用いて弾性係数も測定した。

4. 2 透水試験

透水試験は圧縮試験供試体を塩化ビニルパイプにはめこみ、その上部に透水円筒を接着させJIS A 1218の土の定水位透水試験に準じて行った。

4. 3 曲げ試験

曲げ試験はFig2に示すように供試体スパン(30cm)中央部に高さ3cm、幅2mmの切りかきを設けその開口変位をクリップゲージで測定し、支点、載荷点の変位も参考として測定した。第1回目の試験は材令14日とし、供試体作成ご3カ月目、及び5ヶ月目の経時変化を見ることとした。

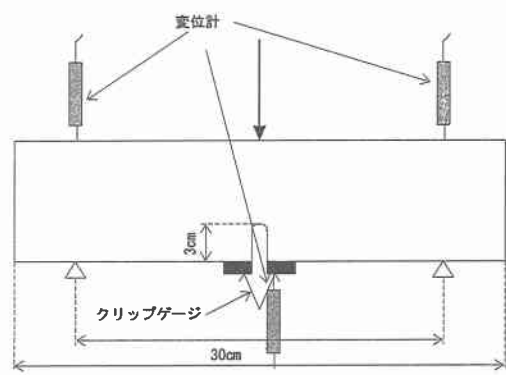


Fig2. 曲げ試験供試体

4. 4 腐食促進試験

腐食促進試験はFig3に示すような流動水域に対応するもの（散水）とFig4に示すような閉鎖水域に対応するもの（冠水）を考えた。閉鎖水域に対応するものについて、鋼繊維補強のものは硫酸によってph=5.0に固定し一週間おきに水を取り替えphの推移を計測し、Eガラス繊維については養生の状態(ph=12.5)を保ったままにした。

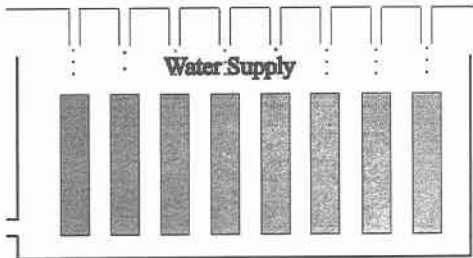


Fig3. 散水促進試験環境

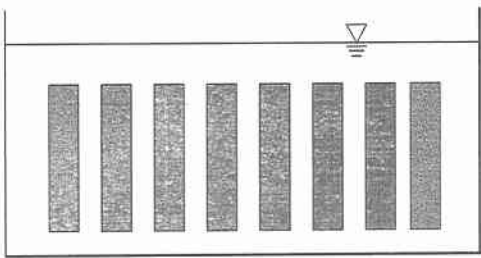


Fig4. 冠水促進試験環境

5. 実験結果及び考察

5. 1 圧縮強度

Fig5に繊維混入率と材令28日の圧縮強度の関係を示す。配合計算で代入した圧縮強度は 22.6MPaであったが低めに測定された。

5. 2 透水係数

透水係数は配合設計時に0.5cm/secであったが、どの混入率においても0.1cm/sec程度となった。

5. 3 曲げ試験

Fig6～Fig11に各繊維の荷重開口変位結果を示す。図に示す記号は初期値をI、散水環境をS、冠水環境をPとし、その後の数字は経過月を示す。

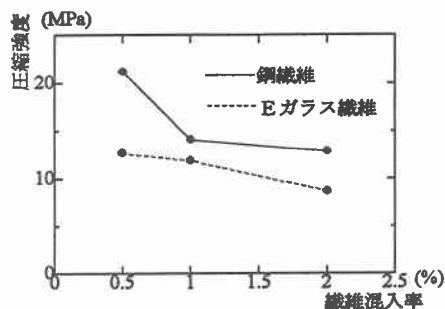


Fig5. 圧縮試験結果

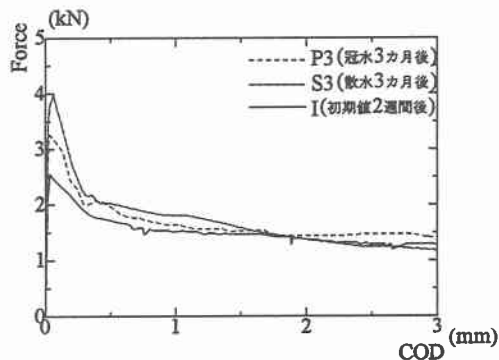


Fig6. 鋼繊維0.5%

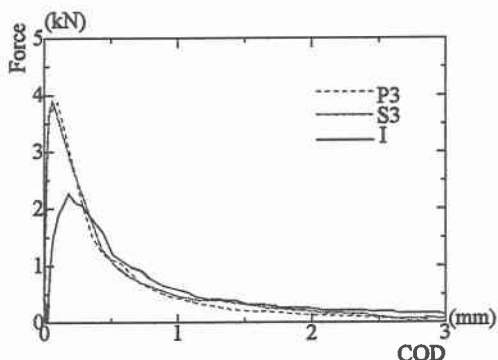


Fig9. Eガラス繊維0.5%

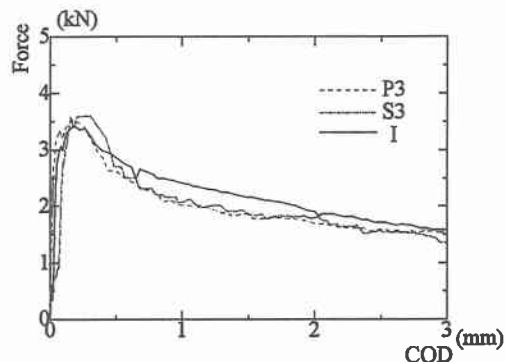


Fig7. 鋼繊維1.0%

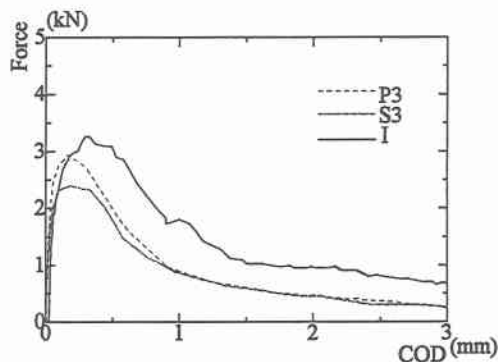


Fig10. Eガラス繊維1.0%

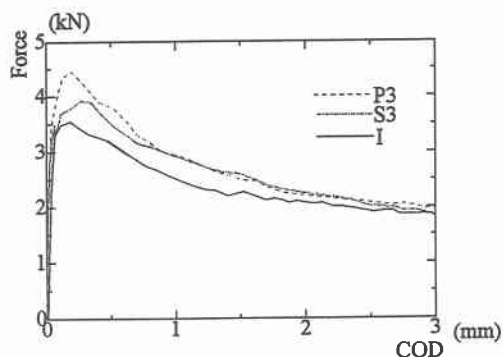


Fig8. 鋼繊維2.0%

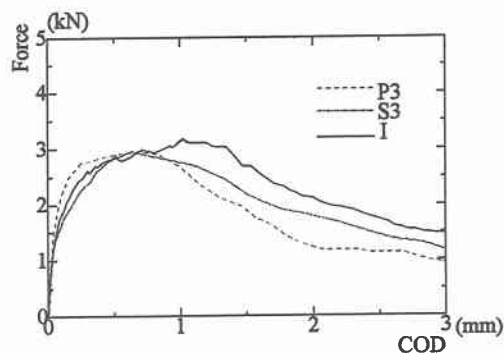


Fig11. Eガラス繊維2.0%

鋼繊維補強のものは最大荷重を与える開口変位が材令の進行ともないほとんど変化していないのに対し、Eガラス補強のものは明らかに減少している。またEガラス補強は各環境の変化に対して荷重－開口変位曲線にあまり違いが生じていない。このことは曲線にEガラス繊維とマトリックス部分の付着強度に支配していることを表している。

既往の研究³⁾によると一般に繊維補強コンクリートは荷重－変位曲線において比例限界である強度L.O.P (limit of proportionarity) と曲げ強度に相当する曲げ破壊係数M.O.R (modulus of rupture) があり両者の差は繊維が破断することなくコンクリートマトリックスから伝達される荷重を表している。本研究では荷重－開口変位曲線でもこの考え方が成りつと考へ繊維補強ポーラスコンクリートのM.O.RとL.O.Pの差からブレンポーラスコンクリートのM.O.RとL.O.Pの差を引いたものを繊維分担強度と定義する。Fig12及びFig13に繊維分担強度と繊維混入率の関係を示す。鋼繊維補強については各混入率、各環境において初期値に対し傾向がつかめていない。目視では散水環境において発錆が大であり、冠水環境ではほとんど発錆が認められないが、錆の繊維分端強度に対する影響が不明だからである。Eガラス繊維補強は各環境において初期値から明らかに減少している。また散水環境、冠水環境の違いはばらつきによるものと考えられ、繊維径の減少から繊維分担強度の経時変化が算定できると判断される。

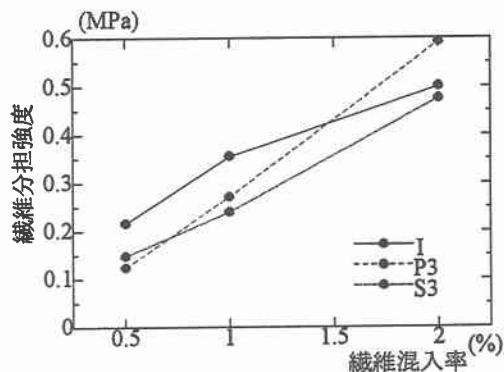


Fig12. 鋼繊維補強の繊維分担強度と繊維混入率の関係

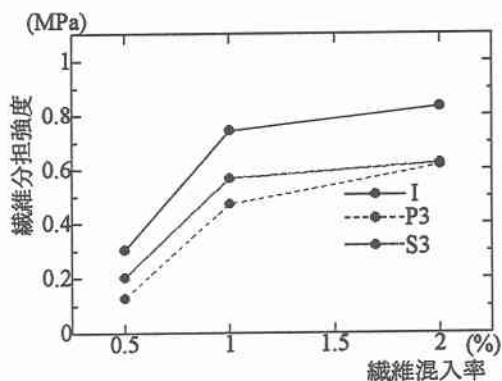


Fig13. Eガラス繊維補強の繊維分担強度と繊維混入率の関係

6. Eガラス繊維の劣化解析手法及び解析結果

6. 1 拡散方程式

Fickの2次元拡散モデル式は(1)式ようになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + F(C, r, t) \quad (1)$$

C ; 繊維表面のアルカリモル濃度 (mol/l)

t ; 時間 (hr)

x, y ; 繊維未反応量 (mm)

D ; 拡散係数 (mm²/hr)

F ; アルカリの消費を伴う反応

Eガラス繊維を円形断面と考えると(1)式を極座標に変換すると(2)式ようになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial C}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial t} \right) + F(C, r, t) \quad (2)$$

r ; 繊維中心からの未反応量 (mm)

6. 2 解析モデル

既往の研究²⁾によると一般にアルカリ反応速度は無限大でガラス繊維は一瞬で消滅してしまうが、既往の研究によると実際は繊維中のシリカ成分が単位体積当り消費し得るアルカリ量は、単位繊維中のシリカ量にアルカリとシリカの反応比を乗じた値(有効消費アルカリ容量)が上限となる。従って本研究でも同様の手法で(2)式を時間と繊維中心からの距離によって離散化し、ある時間において、反応距離に蓄積されたアルカリ量が有効消費アルカリ容量を超過しなければ、次の時間ステップのアルカリ濃度を0とし、超過すればそのまま拡散方程式の計算を行うものとした。

6. 3 拡散係数の取り扱い

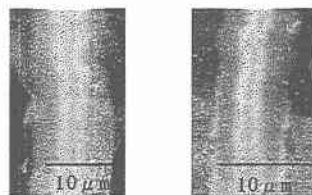
拡散係数は、Fickの拡散方程式を簡略化して一次元モデル式(3)を解いて、走査電子顕微鏡で観察された繊維径を用いて式(4)から最小2乗法によって求め、結果 $D = 4.265 \times 10^{-8}$ (mm²/hr) となった。

$$\frac{dx}{dt} = D \cdot \frac{C}{x} \quad (3)$$

$$x = \sqrt{2 \cdot D \cdot C \cdot t} \quad (4)$$

x ; アルカリ反応距離 (mm)

C ; 0.05 (mol/l)



浸水7日

浸水28日

Fig. 14 Eガラス繊維劣化性状(2000倍)

6. 4 有効消費アルカリ容量の計算

Eガラスの組成から反応性シリカ成分(SiO₂)は54.9%であるので単位体積当りのシリカ成分は 18.3mol/l (2200/60 × 54.9, 2200g/l; SiO₂の比重, 60; SiO₂の分子量)である。一方石英ガラスにおけるシリカ 1.0mol/l 当たり消費しうるアルカリ量は対象としているアルカリ溶液がCaOHの飽和溶液であるので 0.02mol/l である。Eガラスの反応比が石英ガラスの定数倍として有効消費アルカリ容量を 0.366mol/l と決定した。

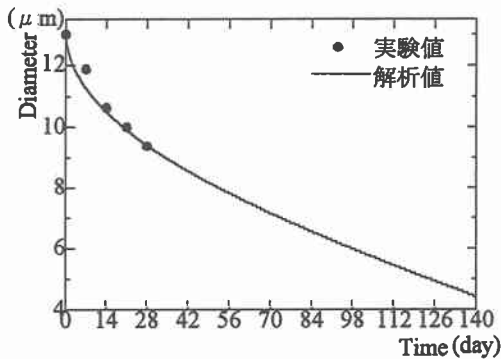


Fig15. Eガラス繊維径劣化の解析結果

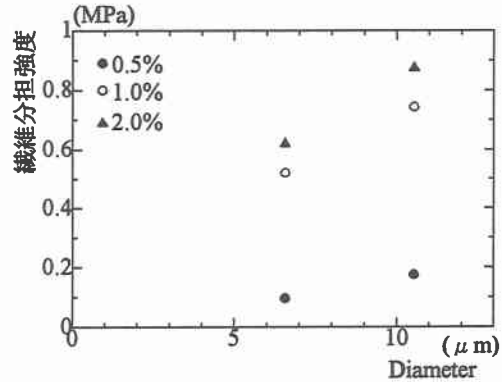


Fig16. Eガラス繊維補強の
繊維分担強度と繊維径の関係

6. 5 解析結果

走査電子顕微鏡によって観察された結果 (Fig14) とアルカリによるEガラス繊維劣化プログラムによる解析結果をFig15に示す。繊維径の観察から逆解析によって十分に繊維径の経時変化を求めることが可能であることがわかる。なお、解析には $dt=0.01(hr)$ 、 $dr=3.25 \times 10^{-5}(mm)$ を使用した。

6. 6 繊維分担強度と繊維径の関係

実験から得られた材令2週間後、材令3カ月後のEガラス繊維の繊維分担強度と解析によって得られたその時間の繊維径の関係をFig16に示す。この図から各繊維混入率において繊維分担強度と繊維径は正の相関関係があり、繊維径の減少から繊維分担強度の低下が予測できると思われる。

7. まとめ

- Eガラス繊維補強ポーラスコンクリートの荷重－開口変位曲線は材令の進行の伴い明確にEガラス繊維の劣化の影響が見られる。
- Eガラス繊維補強ポーラスコンクリートは環境の変化に対する荷重－開口変位曲線の変化があまりないので繊維とマトリックス部分の付着が繊維分担強度に支配的である。
- Eガラス繊維そのものの劣化プログラムによってEガラス繊維補強ポーラスコンクリートの繊維分担強度の経時変化が予測できると思われる。
- 鋼繊維補強ポーラスコンクリートは錆に対する考慮を明確にしなければならない。

[参考文献]

- 1) 徳重：透水性コンクリートの配合設計と耐凍害性に関する基礎的研究；北海道大学学位論文
- 2) 魚本、勝木：各種繊維の耐アルカリ性の評価法に関する基礎研究；土木学会論文集 No. 490/V-23, PP167～174, 1994
- 3) 五十嵐、川村：ガラス繊維補強コンクリートの微視的構造と耐久性；土木学会論文集 No. 451/V-17, PP215～224, 1992