

論文 緑化コンクリートの強度特性

田中博一*1・今井 実*2

要旨: 緑化コンクリートの強度特性を把握するため、水セメント比、モルタル粗骨材容積比 (M/G)、空隙率および粗骨材粒径等を変化させて圧縮強度試験を実施した。また、保水性の確保を目的としてベントナイト原鉱骨材を粗骨材の一部に用いた場合について検討した。その結果、本研究の範囲では、緑化コンクリートの圧縮強度は水セメント比、M/Gおよび粗骨材粒度にほとんど影響を受けず、空隙率に大きく影響を受けることが明らかになった。また、ベントナイト原鉱骨材は緑化コンクリートが硬化した後に適当な水分により膨潤し、保水性を確保することが確認された。

キーワード: 緑化コンクリート、空隙率、ベントナイト原鉱骨材、圧縮強度

1. はじめに

近年、土木・建築の両分野において、自然との調和あるいは共生を目指して様々な試みがなされており、植生可能なコンクリートである緑化コンクリートの適用もその一つである。現状では、緑化コンクリートの実施例は極めて少なく、河川護岸ののり面に適用したのが数例あるのみである。しかし、環境問題に対する社会的な意識の向上とともに、実施例は今後多くなっていくものと考えられる¹⁾。

緑化コンクリートの施工は、工場で生産されたプレキャスト製品を用いて行う方法と現場打ちで行う方法があるが、適用する実構造物の要求性能に対応するためには、その強度特性を把握しておくことは極めて重要である。

筆者らは、通常の生コン工場で使用されている材料を用いた汎用性の高い現場打ちの緑化コンクリートの研究、開発を行い^{2), 3)}、いくつかの現場に試験的に適用した。その結果、締固め等により空隙率の変動が生じやすい、コンクリート表面にモルタルが浮き上がりやすい等の問題点が明らかになった。

本研究では、前述の問題点を改善するために、単位粗骨材量を多くし、モルタル量を少なくし

た配合について、水セメント比、モルタル粗骨材容積比、空隙率、粗骨材粒径、締固め方法を要因として圧縮強度試験を実施した。

また、保水性を確保するために、ベントナイト原鉱骨材を粗骨材の一部に用いた場合の圧縮強度特性を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント (比表面積: $3250\text{cm}^2/\text{g}$, 密度: $3.15\text{g}/\text{cm}^3$) を使用した。細骨材は、静岡県浜岡産の陸砂 (表乾比重: 2.58, 吸水率: 1.84%, F.M: 2.81), 粗骨材は、東京都青梅産の硬質砂岩碎石 (表乾比重: 2.65, 吸水率: 0.6%, F.M: 6.75) およびベントナイト原鉱骨材 (見かけ比重: 2.04, F.M: 7.2, 最大寸法: 25mm, 含水率: 6.3%) を使用した。ベントナイト原鉱骨材とは、写真-1に示すようにベントナイト原鉱を破碎した碎石状のものである。ベントナイト原鉱骨材は、吸水し膨潤する材料であるため、JISA1110の方法では比重を求めることができない。そこで本研究では、次式により算定される値をベントナイト原鉱骨材の見かけ比重とした。

*1 清水建設 (株) 技術研究所 建設技術開発部 工修 (正会員)

*2 清水建設 (株) 技術研究所 建設技術開発部 主席研究員 (正会員)

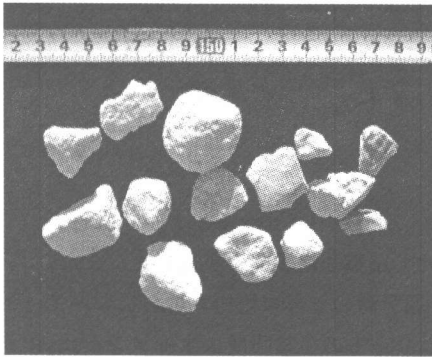


写真-1 ベントナイト原鉱骨材

$$D = \frac{m}{(V - V_w)}$$

ここに、

D: ベントナイト原鉱骨材の見かけ比重

m: JISA1104の単位容積質量の測定方法に準じて詰めた容器中の試料の質量(kg)

V: 容器の容積(l)

V_w : 容器中に試料を詰めた状態で注水した水の容積(l)

練混ぜ水には水道水を使用し、混和剤にはリゲニンスルホン酸系のAE減水剤およびナフタレン系の高性能AE減水剤を使用した。

2.2 コンクリートの配合

配合を表-1に示す。なお、単位粗骨材量 1486kg/m^3 は、施工時に締固め等により空隙率などに対して受ける影響を小さくする目的で、単位粗骨材量を多くするために予備実験により求めた値である。

(1) 水セメント比の影響

普通コンクリートと同様な水セメント比と強度の関係が成立するかどうかを検討した。実験に供した配合は配合No.1, 3, 11~14である。

(2) モルタル粗骨材容積比の影響

圧縮強度に及ぼすモルタル粗骨材容積比の影響を把握するために、空隙率を一定にした場合と単位粗骨材量を一定にした場合について検討した。空隙率を一定にした場合の配合は配合No.3~5であり、単位粗骨材量を一定にした場合の配合は配合No.1, 2, 3, 6, 7である。

(3) 空隙率の影響

表-1 コンクリートの配合

配合No.	W/C (%)	M/G (%)	空隙率 (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤(g/m ³)
				W	C	S	G	
1	30	25	30	58	195	50	1486	48.7
2	30	34	25	73	243	103	1486	60.7
3	30	41	21	85	283	143	1486	70.7
4	30	47	21	88	293	180	1434	73.2
5	30	57	21	91	303	244	1354	75.7
6	30	46	18	96	321	160	1486	80.2
7	30	60	10	125	419	209	1486	104.7*
8	30	100	5	168	560	420	1186	1680*
9	30	150	5	168	560	526	1060	560*
10	30	222	1.7**	168	560	758	821	5600*
11	25	41	21	85	340	93	1486	85.0
12	35	41	21	85	243	173	1486	60.7
13	25	25	30	58	232	21	1486	58.0
14	35	25	30	58	165	75	1486	41.2

*: 高性能AE減水剤、他はAE減水剤を使用

**: JISA1128準じて測定した空気量

圧縮強度に及ぼす空隙率の影響を把握するために、水セメント比を一定にした場合の空隙率と圧縮強度の関係を検討した。空隙率は配合設計する際に設定したものである。実験に供した配合は配合No.1~10である。

(4) 粗骨材粒径の影響

現場打ちで緑化コンクリートを施工する場合、締固め等の影響により粗骨材の粒径が偏ることがある。偏った場合の圧縮強度特性を把握するために、粗骨材の粒径が圧縮強度に及ぼす影響を検討した。粗骨材は、5~10mm, 10~15mm, 15~20mmの3種類にふるい分けて使用した。実験に供した配合は配合No.1, 3である。

(5) 締固め方法の影響

締固め方法が圧縮強度に及ぼす影響を検討した。実験に供した配合は配合No.1, 3である。

(6) ベントナイト原鉱骨材の影響

ベントナイト原鉱骨材を粗骨材の一部に用いた場合に圧縮強度に及ぼす影響を検討した。実験に供した配合は配合No.1, 3を基本とし、粗骨材の一部としてベントナイト原鉱骨材を置換率10%, 30%および50%で置換した。

2.3 練混ぜ方法および供試体作製方法

コンクリートの練混ぜには容量50lのパン型

ミキサを使用し、セメント、細骨材、粗骨材を投入し10秒間練り混ぜた後、水および混和剤を投入してさらに60秒間練り混ぜた。

供試体の形状は、締固め方法の影響を検討する場合は、 $\phi 30 \times 60\text{cm}$ の円柱とし、それ以外の場合は、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱とした。供試体の本数は、 $\phi 30 \times 60\text{cm}$ については各配合ごとに1本ずつ、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ については各配合の各材齢ごとに3本ずつとした。

供試体は、あらかじめ算定した型枠容積分の質量のコンクリートを計量し、ほぼ等しい3層に分けて締固め作製した。締固めは、締固め方法の影響を検討する場合は、締固め小（突き棒で各層50回突く）および締固め大（9000～10000vpmの型枠振動パイププレートを用いて各層において十分に締固めを行う）の2種類の方法により行った。それ以外の場合は、突き棒により各層10回程度突き、3層目を突いた後、型枠振動パイププレート（9000～10000vpm）を用いて打込み面が平坦になるまで軽く押し当てるようにして締め固めた。なお、振動時間は空隙率により異なるが、5秒程度以下であった。

供試体の養生方法については、普通骨材のみを用いた場合は、材齢1日まで、室温20℃、相対湿度80%の室内に静置した後、所定の材齢まで20℃の水中に養生した。ベントナイト原鉱骨材を用いた場合は、所定の材齢まで室温20℃の室内で封かん養生した。

3. 結果および考察

3.1 空隙率

水セメント比および単位粗骨材量を一定とした場合のモルタル粗骨材容積比と空隙率の関係を図-1に示す。モルタル粗骨材容積比が大きくなるほど、直線的に空隙率が小さくなった。コンクリートをレオロジー的な観点から、粗骨材を固相、モルタルを液相、空隙を気相と仮定すると、多孔質コンクリートは図-2のようにモデル化することができる⁴⁾。モルタル粗骨材容積比が大きくなると、粗骨材の表面に付着す

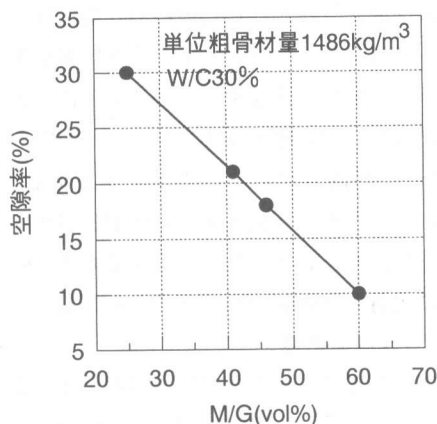


図-1 モルタル粗骨材容積比(M/G)と空隙率の関係（水セメント比，単位粗骨材量一定）

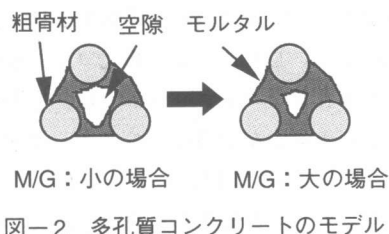


図-2 多孔質コンクリートのモデル

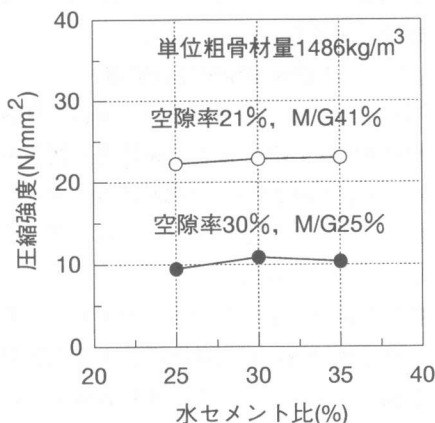


図-3 水セメント比と圧縮強度の関係（材齢7日）

るモルタル層の厚さが厚くなり空隙部分を埋めるため、空隙率が小さくなると考えられる。

3.2 圧縮強度

(1) 水セメント比の影響

水セメント比と材齢7日の圧縮強度の関係を図-3に示す。空隙率21%および30%のいずれにおいても、水セメント比によらず、ほぼ同程

度の圧縮強度となった。したがって、緑化コンクリートでは、普通のコンクリートとは異なり水セメント比説は成立せず、水セメント比は圧縮強度にほとんど影響を及ぼさないことが明らかとなった。材齢28日においても同様な傾向が認められた。しかし、水セメント比が圧縮強度に影響を与えるという報告^{4), 5)}もあるため、今後さらに検討する必要があると考えられる。

(2) 空隙率の影響

空隙率（空気量）と材齢7日および28日の圧縮強度の関係を図-4に示す。なお、空隙率1.7%は、JISA1128に準じて測定した空気量の値である。材齢7日および28日のいずれにおいても、空隙率が大きくなるにつれ圧縮強度がほぼ直線的に減少した。したがって、緑化コンクリートのような多孔質なコンクリートでは、空隙率が圧縮強度の支配的な要因の一つであると考えられる。同様な傾向は、既往の研究^{6), 7), 8)}においても認められる。本研究の範囲では、空隙率30%で10N/mm²程度、空隙率21%で20N/mm²程度の圧縮強度が得られた。

(3) モルタル粗骨材容積比の影響

空隙率を一定とした場合のモルタル粗骨材容積比と材齢7日および28日の圧縮強度の関係を図-5に示す。材齢7日および28日のいずれにおいても、モルタル粗骨材容積比によらずほぼ同程度の圧縮強度となった。

単位粗骨材量を一定とした場合のモルタル粗骨材容積比と材齢28日の圧縮強度および空隙率の関係を図-6に示す。モルタル粗骨材容積比が大きくなるにつれ、圧縮強度がほぼ直線的に増加した。これは、前述の図-5の結果を考慮すると、モルタル粗骨材容積比の影響ではなく、図-6に示すように、単位粗骨材量が一定の場合、モルタル粗骨材容積比が大きくなるにつれ空隙率が小さくなったためと考えられる。

以上より、緑化コンクリートのように空隙率が大きい場合、モルタル粗骨材容積比より空隙率の方が圧縮強度に及ぼす影響が大きく、空隙率が一定であれば、モルタル粗骨材容積比は圧

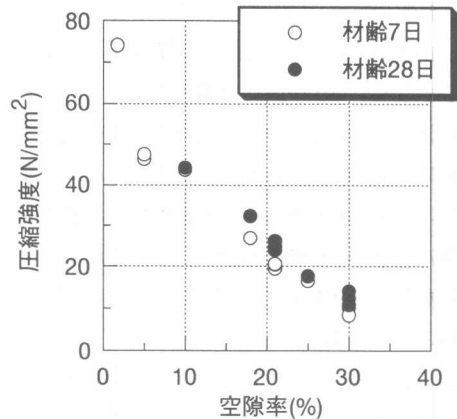


図-4 空隙率（空気量）と圧縮強度の関係

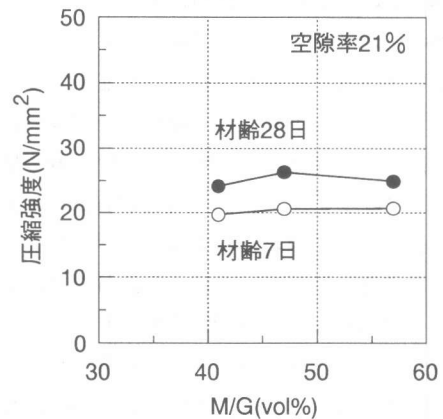


図-5 モルタル粗骨材容積比と圧縮強度の関係（空隙率一定）

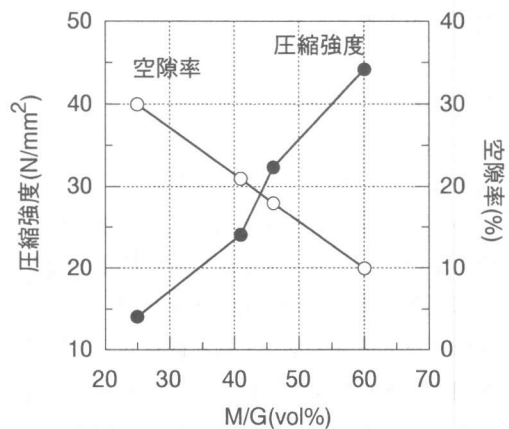


図-6 モルタル粗骨材容積比と圧縮強度の関係（単位粗骨材量、W/C一定、材齢28日）

縮強度にほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

(4) 粗骨材粒径の影響

単位粗骨材量を一定とした場合の粗骨材粒径と材齢7日の圧縮強度の関係を図-7に示す。空隙率21%および30%のいずれの場合においても、粒径が大きくなるにつれて強度が若干大きくなるものの、その差は最大で3N/mm²以下であり明確な差ではない。空隙率が一定であれば、粗骨材の粒径は圧縮強度には影響をほとんど及ぼさないと考えられる。したがって、空隙率が一定であれば、施工時に粗骨材の粒径が偏った場合でも、圧縮強度の差はそれほど大きくないことが明らかとなった。材齢28日においても同様な傾向が認められた。

(5) 締固め方法の影響

締固め程度と材齢28日の圧縮強度の関係を図-8に示す。空隙率21%および30%のいずれにおいても、締固め大の方が締固め小より圧縮強度が大きくなった。その差は空隙率21%の場合の方が空隙率30%の場合よりも大きくなっている。締固め程度は、圧縮強度に大きく影響を及ぼすものと考えられる。したがって、緑化コンクリートを適用する場合、締固め方法については十分な検討が必要である。

(6) ベントナイト原鉱骨材の影響

空隙率を一定とした場合のベントナイト原鉱骨材置換率と材齢7日および28日の圧縮強度の関係を図-9に示す。ベントナイト原鉱骨材置換率が大きくなるにつれ、圧縮強度が著しく低下した。次に、ベントナイト原鉱骨材が占める容積を空隙とみなした場合の空隙率と材齢7日の圧縮強度の関係を普通骨材のみを用いた場合の結果とともに図-10に示す。ベントナイト原鉱骨材を用いた場合の空隙率と圧縮強度の関係は、普通骨材のみを用いた場合とほぼ同一曲線上にある。したがって、ベントナイト原鉱骨材が占める容積は空隙とほぼ等しく、ベントナイト原鉱骨材は圧縮強度にほとんど寄与しないものと考えられる。

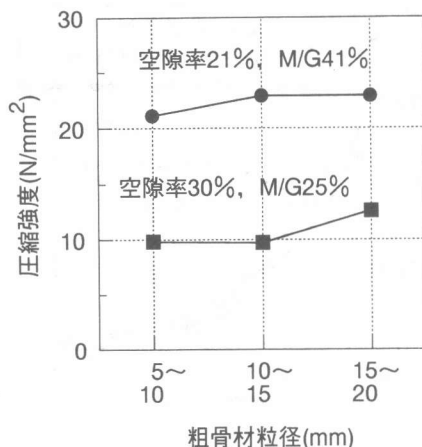


図-7 粗骨材の粒径と圧縮強度の関係

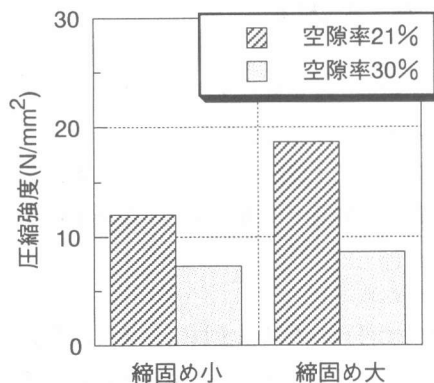


図-8 締固め程度と圧縮強度の関係
(材齢28日)

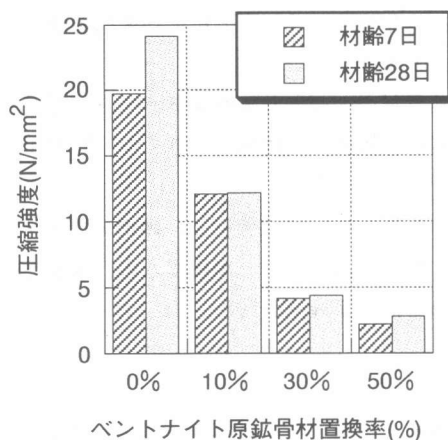


図-9 ベントナイト原鉱骨材置換率と圧縮強度
の関係 (空隙率21%)

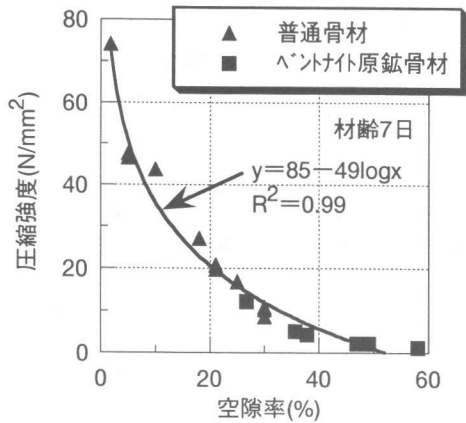


図-10 空隙率と圧縮強度の関係
(ベントナイト原鉱骨材を空隙とみなした場合)

4. 植生実験概要

現在、圧縮強度特性を検討した緑化コンクリートを用いて植生実験を実施している。暴露開始から約2ヶ月経過した状況を写真-2に示す。ベントナイト原鉱骨材は、吸水し膨潤しており、保水性に対する有用性が示されている。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 多孔質なコンクリートである緑化コンクリートの圧縮強度特性に大きく影響を及ぼす要因は、空隙率および締固め方法である。
- (2) 水セメント比およびモルタル粗骨材容積比は、緑化コンクリートの圧縮強度に影響をほとんど及ぼさない。
- (3) 粗骨材の一部としてベントナイト原鉱骨材を用いた場合、置換率が大きくなるほど圧縮強度は小さくなる。
- (4) ベントナイト原鉱骨材は、硬化後コンクリート中で膨潤することが確認され、保水性を高める効果が確認された。

謝辞

本研究を実施するにあたり、ベントナイト原骨材はクニミネ工業（株）に提供して頂きました。ここに記し感謝の意を表します。

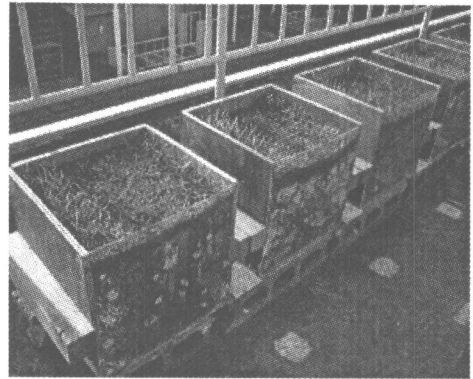


写真-2 植生実験状況
(暴露開始から約2ヶ月後)

参考文献

- 1) 今井実：植生コンクリートのり面ー，コンクリート工学，Vol.36，No.1，pp.24-26，1998.1
- 2) 武川芳広・渡部俊雄・小野定・今井実：場所打ち透水性コンクリートの開発，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集，第6部，pp.596-597，1995.9
- 3) 橘大介・今井実・武川芳広・高木史人：透水性コンクリートの耐凍害性，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，第5部，pp.386-387，1996.9
- 4) 吉森和人・藤原浩巳・伊藤修一・岡本享久・下山善秀：ポーラスコンクリートの強度と耐久性に関する研究，第49回セメント技術大会講演集，pp.768-773，1995
- 5) 添田政治・大和竹史・江本幸雄：ポーラスコンクリートへの再生骨材の適用性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.1117-1122，1998
- 6) 伊藤昌昭：透水コンクリートの概要および“エコマテリアル”としての用途，セメント・コンクリート，No.576，pp.11-16，1995.2
- 7) 水口裕之・宮島崇・服部眞門・宮川恒夫：連続空隙を持つポーラスコンクリートの水質浄化機能に及ぼす空隙寸法および空隙率の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.1045-1050，1997
- 8) 松川徹・玉井元治・杉野守・芦田馨：緑化コンクリートの空隙性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.1，pp.999-1004，1996