

# 論文 ポーラスコンクリートの締固め方法に関する研究

柳橋邦生<sup>\*1</sup>, 米澤敏男<sup>\*2</sup>, 安藤慎一郎<sup>\*3</sup>, 山田敏昭<sup>\*4</sup>

**要旨:** ポーラスコンクリートの現場打設方法を検討する目的で、ランマーによるポーラスコンクリートの締固め性状と実際にバックホウによりポーラスコンクリートを締固めた場合の性状について実験を行った。ポーラスコンクリートの空隙率や圧縮強度は、ランマーによる実験では、ランマーの落下高さや落下回数、締固め厚によりに影響を受けた。バックホウによる実験では、バケットの接地圧や加圧時間に影響を受けた。各々の締固め条件により、空隙率と圧縮強度には相関があることが確認できた。

**キーワード:** ポーラスコンクリート, 締固め, 現場打設, 空隙率, 圧縮強度

## 1. はじめに

近年、多自然型護岸を実現するための材料として植栽型のポーラスコンクリートが適用される機会が増加している。ポーラスコンクリートは、振動締固めを行うと粗骨材とセメントペーストが分離し易いため、現場打設時に均質なコンクリートを打設する技術が重要である。

本報は、ポーラスコンクリートを現場打設する際の締固め方法を考案するために行ったランマーによる基礎実験の結果と、無振動での締固めが可能な重機としてバックホウを用いた実験の結果をまとめたものである。

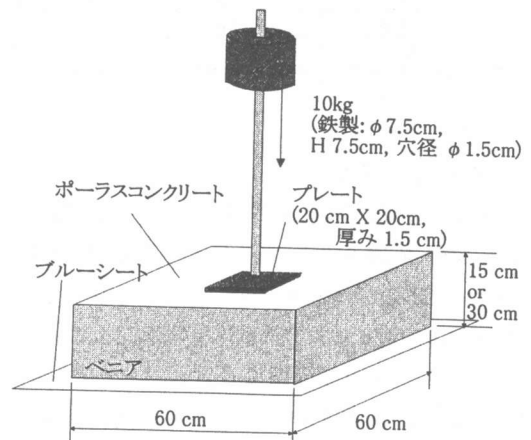


図1 打設実験の概要

## 2. ランマーを使用した基礎実験

### 2.1 実験概要

ランマーによる締固めは、落下による衝撃エネルギーを利用したものであり、落下エネルギーは、落下高さや落下物の重量、落下回数、落下物が作用する体積に左右されると考えられる。本実験では、図1のように60cm×60cm、高さ30cmの型枠を設置してポーラスコンクリートを1層で打設し、上面にプレートを置いて、ランマーを落下させることにより実験を行った。

### 2.2 実験の因子と水準

実験の因子と水準を表1に、その組み合わせを表2に示す。ランマーの重量は一定(10kg)とし、落下・衝撃エネルギーを変化させる目的で落下高さや落下回数を変化させた。また、プレートの大きさは一定とし、衝撃エネルギーの作用体積を変化させる目的で落下位置のポーラスコンクリートの締固めの厚みを変化させて実験を行った。

\*1(株)竹中工務店 技術研究所 生産研究開発部 材料グループ (正会員)

\*2(株)竹中工務店 技術研究所 生産研究開発部 材料グループ 主任研究員 Ph.D. 正会員)

\*3(株)竹中土木 技術本部 係長 (正会員)

\*4(株)竹中土木 技術本部 (正会員)

表1 ランマーを使用した実験の因子と水準

因子	水準
締固め厚	15cm, 30cm
ランマー落下高さ	50cm, 100cm, 140cm
落下回数	3回, 6回, 12回

表2 因子と水準の組み合わせ

No.	締固め厚	落下高さ	落下回数
1	30 cm	50 cm	3
2	30 cm	50 cm	6
3	30 cm	50 cm	12
4	30 cm	100 cm	3
5	30 cm	100 cm	6
6	30 cm	100 cm	12
7	30 cm	140 cm	3
8	30 cm	140 cm	6
9	30 cm	140 cm	12
10	15 cm	50 cm	6
11	15 cm	100 cm	6
12	15 cm	140 cm	6
13	30cm	—	—

## 2. 3 実験方法

### (1) 供試体採取方法

因子と水準に基づいて締固めを行った試験体は、材齢 8 週まで養生シートにて湿潤養生を行った。材齢 10 週経過時に JIS A 1107 に準拠して 2 本ずつφ10cm のコア供試体を採取した。また、コントロール用に締固めを行わない条件で打設・養生した試験体からφ10cm のコア供試体を 2 本と、ポーラスコンクリートのコアポーリングによる供試体の強度低下の有無を調べる目的で、表 2 の No.5 の試験体と同一の条件で打設・締固め・養生を行った試験体 3 体の中央部から 20cm の立方体に切り出した供試体を採取した。

### (2) 使用材料と配合

使用したポーラスコンクリートの使用材料を表 3 に、配合を表 4 に示す。セメントは、高炉セメント B 種に高炉スラグ微粉末を混合し、高炉セメント C 種に相当するものとした。

### (3) 練混ぜ方法

練混ぜには、レディーミクストコンクリート工場の 2 軸強制練りミキサーを使用し、骨材とセメント、スラグを投入して 15 秒間、から練りを行った後に水と高性能 AE 減水剤を投入して 90 秒練り混ぜた。練り混ぜたコンクリートは、直ちに型枠に打設した。

### (4) 評価項目

- ・ポーラスコンクリートの分離の有無

粗骨材とセメントペーストの分離の有無を調べるため、コア供試体の側面部の上下各 5 点のセメントペーストの膜厚をノギスにて測定し、その平均値を求めた。

- ・空隙率

供試体の長さや径、および水中重量と気中重量を求め、見かけの比重と真比重の差から空隙率を求めた。

- ・圧縮強度

コア供試体は、JIS A 1107 に準拠して長さ 20cm 以下に切断し、上下面をイオウにてキャッピングを行って、圧縮強度試験を行った。20cm の立方体に切り出した供試体は、打設時の水平面を石膏にてキャッピングを行い、鉛直方向の圧縮強度を測定した。試験材齢は 13 週とした。

## 2. 2 実験結果

### (1) ポーラスコンクリートの分離の有無

試験結果を表 5 に示す。下部のペースト膜厚が上部のものに比較して大きい場合は、粗骨材とセメントペーストが分離していると判断される。ペースト膜厚測定値は 1mm 前後、標準偏差

表3 コンクリートの使用材料

種類	仕様	様
結合材	高炉セメントB種	比重 3.06
	高炉スラグ微粉末	比重 2.92 粉末度 4350 cm <sup>2</sup> /g
粗骨材	青梅産 5 号碎石	表乾比重 2.66 実積率 58%
混和剤	ポリカルボン酸系 高性能 AE 減水剤	比重 1.07

表4 ポーラスコンクリートの配合

骨材最大寸法	P/G (vol.%)	W/C (wt.%)	目標空隙率	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤使用量
				水	セメント	高炉スラグ	5号碎石	
20 mm	30	25	27 %	75	180	120	1600	C×0.6%

は0.11~0.43mmであった。No.1~12の各組合せの上部と下部のペースト膜厚平均値の違いについて危険率5%で検定したところ有意な差はなく、粗骨材とセメントペーストは分離していないと考えられる。

(2)ランマー落下条件が空隙率や圧縮強度に与える影響

ランマーの落下回数や落下高さとの関係を図2に、圧縮強度との関係を図3に示す。ランマーの落下回数が大きくなる程、また、ランマーの落下高さが大きくなる程、空隙率は低下した。ただし、落下高さが140cmの場合では、落下回数6回と12回の空隙率の差はほとんどなく、各落下回数における落下高さ100cmと140cmの場合の空隙率の差も少なかった。落下回数6回以上では、圧縮強度の増加はほとんど認められなかった。ランマーの落下高さ100cmで落下回数12回の場合と、ランマーの落下高さ140cmで落下回数が6回、12回の場合の空隙率は、ほぼ同一で配合表の空隙率に近く、圧縮強度の値もほぼ同一であった。締固めの際、ある程度の衝撃エネルギー（今回の実験では例えば  $10\text{kgf} \times 9.8\text{N/kgf} \times 1.4\text{m} \div 0.04\text{m}^2 \times 6\text{回} = 20,580\text{ J/m}^2$ ）を与えることにより、セメントペーストと粗骨材を分離させることなく、効果的に締固めを行うことができると考えられる。

表5 ペーストの膜厚測定結果

No.	上部(mm)		下部(mm)	
	平均	$\sigma$	平均	$\sigma$
1	1.03	0.32	1.25	0.26
2	0.65	0.19	0.96	0.33
3	0.91	0.16	1.14	0.31
4	1.06	0.30	1.36	0.11
5	1.06	0.21	0.89	0.19
6	1.22	0.29	0.89	0.27
7	0.77	0.25	1.03	0.16
8	0.96	0.27	1.03	0.21
9	1.11	0.30	1.05	0.13
10	0.97	0.36	1.31	0.32
11	0.80	0.35	1.27	0.20
12	0.96	0.43	1.28	0.43
13	0.68	0.26	0.87	0.16

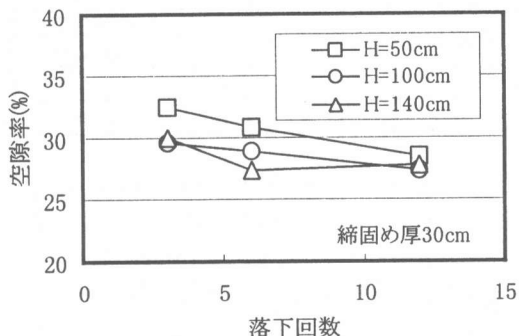


図2 ランマーの落下回数と空隙率の関係

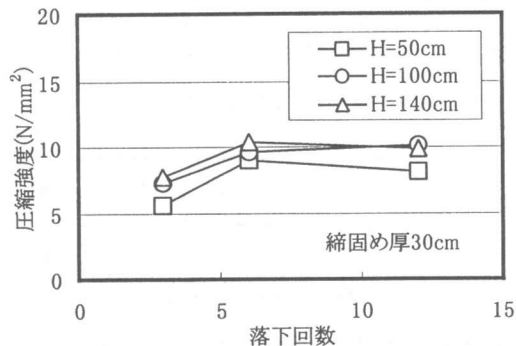


図3 ランマー落下回数と圧縮強度の関係

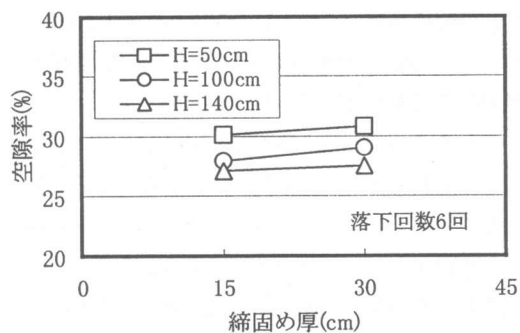


図4 締固め厚と空隙率の関係

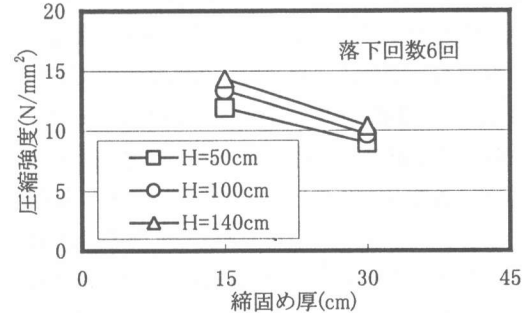


図5 締固め厚と圧縮強度の関係

表6 供試体採取方法による圧縮強度の違い

試験体採取方法	空隙率(%)	圧縮強度 $\sigma_{91}$ (N/mm <sup>2</sup> )
J7(φ10×20 cm)	28.9	9.65
立方体(20cm角)	28.6	11.6

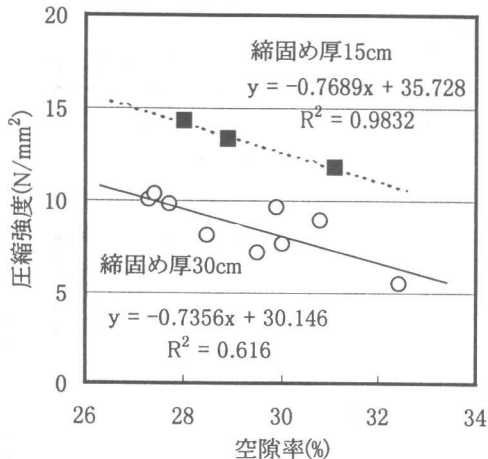


図6 コア供試体の空隙率と圧縮強度の関係

(3) 縮固め厚が空隙率や圧縮強度に与える影響

縮固め厚と空隙率との関係を図4に、圧縮強度との関係を図5に示す。コンクリートの厚みが小さい方が、空隙率が小さくなり、圧縮強度が増加する傾向が確認できた。ポーラスコンクリートをランマーにて縮固める場合は、コンクリートを打ち込む1層の厚さを所要の性能と施工条件に応じて小さくすることにより、圧縮強度を制御することができると考えられる。

(4) 供試体の採取方法が圧縮強度に与える影響

表6に縮固め無しの状態の試験版からコア供試体と立方体に切り出した供試体の空隙率と圧縮強度を示す。両者は、ほぼ同一の空隙率でありながら、立方体に切り出した供試体の圧縮強度は、コア供試体の圧縮強度の1.25倍となった。

両者の圧縮強度の違いは、形状の違いそのものによる差と、試験体寸法の差、および切断時のマイクロクラックや切断面近傍の脆弱化の影響の差によると考えられる。コアボーリングにより影響を受ける可能性のある低強度のポーラスコンクリートのコア供試体の圧縮強度は、実

際のものよりも低い値となるため、コア供試体の圧縮強度をポーラスコンクリートの構造体強度として品質管理するためには、さらに多くのデータの蓄積と分析が必要であると考えられる。

(5) 縮固め後の空隙率と圧縮強度の相関

コア供試体の空隙率と圧縮強度の関係を図6に示す。ポーラスコンクリートの空隙率と圧縮強度には、各縮固め厚さにおいて直線相関が認められた。各縮固め厚における相関式の傾きはほぼ同じであり、空隙率に依存している。相関式の切片の値は、縮固め厚により違いがあり、縮固め条件に影響を受けた結果、差が出たものと考えられる。

3. バックホウによる現場打設実験

3.1 実験概要

バックホウは、ポーラスコンクリート施工部の法面整形等の準備工や、ポーラスコンクリートの撒き出しにも利用が可能な汎用性の高い重

表7 現場打設実験の因子と水準

因子	水準
バックホウの重量	9t, 18t
加圧時間	5秒, 10秒

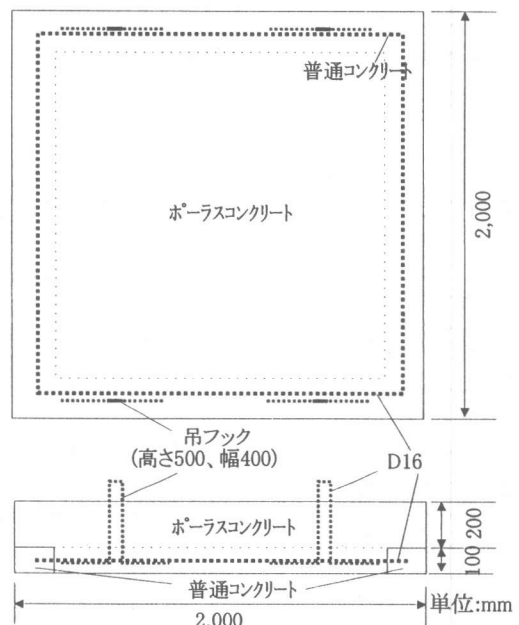


図7 各打設区画の概要図

機であり、バックホウを締固めにも利用できれば、施工の効率化を行うことができる。バックホウによる締固めは、ランマーのような動作は困難であるため、バケットを撒き出したポーラスコンクリート表面に押し当てることによって行った。

### 3.2 因子と水準

実験の因子と水準を表7に示す。締固め厚と使用するバケットの大きさを一定とし、バケットの接地圧を変化させるためにバックホウの重量と、その加圧時間を因子とした。バックホウの重量で9t、および18tは、それぞれ0.4m<sup>3</sup>級、および0.7m<sup>3</sup>級のものに相当する。

### 3.3 実験方法

#### (1)試験体製作方法

試験は、2の実験から1層の打込み厚さを15cmとし、勾配45度、法長3mの斜面に、図7のような2×2mの区画を設けてコンクリートを2層、厚さ30cmで打設し、バックホウのバケットにより締固めを行った。バケットの接地面積は、1.2×1.5mとした。締固め状況を図8に示す。現地

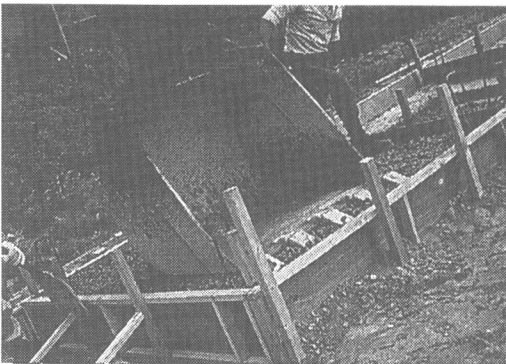


図8 ポーラスコンクリートの締固め状況

表8 コンクリートの使用材料

種類	仕様	
結合材	高炉セメントB種	比重 3.06
粗骨材	青梅産5号砕石	表乾比重 2.66 実積率 58%
混和剤	高性能AE減水剤	比重 1.07

表9 ポーラスコンクリートの配合

骨材最大寸法	P/G (vol.%)	W/C (wt.%)	目標空隙率	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			混和剤使用量
				水	セメント	5号砕石	
20 mm	30	25	26 %	76.7	307	1570	C×0.8%

にて2週間、散水養生を行った後、各試験体の中央部から3本ずつコアを採取した。コアポーリングは、マイクロクラック等の発生が極力少なくなるよう、試験版を平坦な場所に移動し、端部の普通コンクリート部にアンカーを打ち込み、等辺山型鋼をポーラスコンクリートの上面に渡して溶接して、これにコアポーリング用の機械を固定して行った。

#### (2)使用材料と配合

実験に使用したポーラスコンクリートの使用材料を表8に、配合を表9に示す。

#### (3)練混ぜ方法

練混ぜは、2の実験と同様に行い、ダンプにて30分程度運搬した後に打設した。

#### (4)評価方法

##### ・円柱供試体の空隙率と圧縮強度

コンクリートの出荷時と現場到着時にφ10 cm×20cmの型枠にJIS A 1108の方法に準拠して円柱供試体を製作した。空隙率、および圧縮強度は、2.1と同様の方法で評価を行った。圧縮強度の試験材齢は13週とした。

##### ・コア供試体の空隙率と圧縮強度

採取したコア供試体の空隙率、および圧縮強度は、2.1と同様の方法で評価を行った。圧縮強度の試験材齢は13週とした。

### 3.4 実験結果

#### (1)円柱試験体の空隙率と圧縮強度

試験結果を表10に示す。圧縮強度は出荷時と現場到着時との間に若干の経時変化が認められた。空隙率の経時変化は認められなかった。

#### (2)コア供試体の空隙率と圧縮強度

各コア供試体の空隙率を図9に、圧縮強度を図10に示す。バックホウの重量が9tおよび18tの試験版を比較すると、重量18tの方が、空隙率は低く、圧縮強度は高くなった。

バックホウの加圧時間が5秒および10秒の試

験版を比較すると、加圧時間の長い方が空隙率は低く、圧縮強度は高くなる傾向が見られた。

図 11 にバックホウにより締固めた場合の空隙率と圧縮強度の関係、および比較のため、2 の実験でランマーによって 15cm の厚みで締固めた場合の空隙率と圧縮強度の関係を示す。バックホウにより締固めた場合もランマーによる締固めと同様に空隙率と圧縮強度の間に直線相関があった。ランマーと締固め厚の相関式は、主として切片の値に違いがあり、締固め条件の違いを反映していると考えられる。

### (3) 締固め条件についての考察

実験結果からは、ポーラスコンクリートをバックホウにて 1 層の打込み厚さを 15cm 程度で締固めを行う際、18t 程度(0.7m<sup>3</sup>級)のバックホウを使用し、加圧時間を長くすることが最も望ましい。しかしながら、ポーラスコンクリートのような多孔体は乾燥しやすいため、実施工における品質確保の面で、加圧時間は必要最低限な範囲とすることが望ましい。なお、重量 18t、バケット面積 1.8m<sup>2</sup> のバケット接地部の面圧を同一条件で計測したところ 0.53N/mm<sup>2</sup> であった。

## 4. まとめ

実験結果から明らかとなった点を、以下にまとめる。

- 1) ランマーにてポーラスコンクリートを締固める場合、ランマーの落下高さが大きい場合や、落下回数が多い場合、締固め厚が小さい場合に高い圧縮強度が得られたが、ある程度の衝撃エネルギー以上で一定となった。
- 2) コアボーリングした供試体の圧縮強度の値は、実際よりも小さくなっている可能性がある。
- 3) バックホウにてポーラスコンクリートを締固める場合、接地圧が大きい場合や加圧時間が長い場合に圧縮強度が高くなった。
- 4) バックホウにてポーラスコンクリートを締固める場合、接地圧を 0.53N/mm<sup>2</sup> とし、加圧時間を施工状況に応じてコンクリートが乾燥しない範囲で長くすれば良い。

表 10 打設したコンクリートの品質

	出荷時	現場
空隙率(%)	27.9	28.4
圧縮強度 $\sigma_{91}$ (N/mm <sup>2</sup> )	18.6	16.6

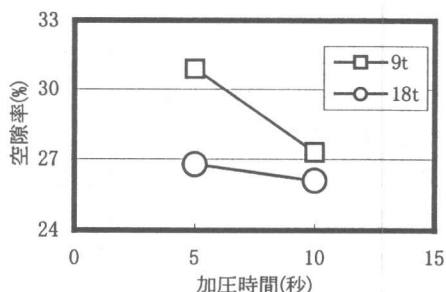


図 9 コア供試体の空隙率

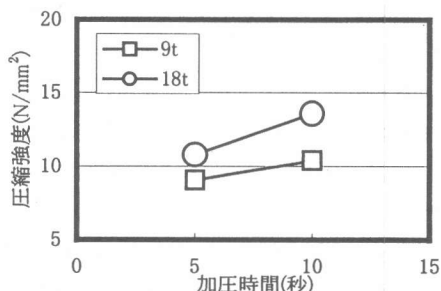


図 10 コア供試体の圧縮強度

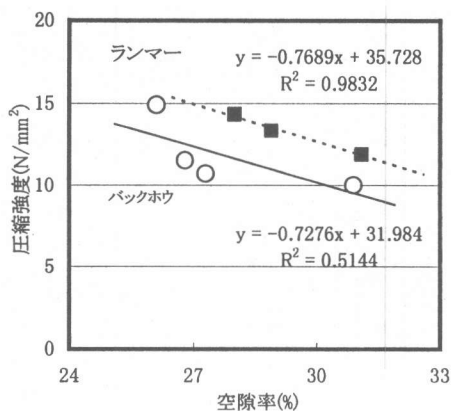


図 11 空隙率と圧縮強度の関係

- 5) 締固めたポーラスコンクリートの空隙率と圧縮強度には、相関が認められた。

## 参考文献

- 1) 柳橋邦生ほか、緑化コンクリートの河川護岸への適用、コンクリート工学年次論文報告集, Vo.18, No.1, 1996