

報 告

[1034] 締固め不要コンクリートを用いたセグメントの製造実験

伊藤伸一郎*¹ 弘中義昭*¹ 西本憲生*² 岡村直利*³

1. はじめに

一般に、コンクリートセグメントは鉄筋間隔が小さく密に配筋される上に継手金物が配置されることから、コンクリートの充填に際しては強力な振動締め固めが必要である。また、製作精度も一般の構造物に比べると厳しい規準を有しており、型枠は寸法精度を確保するため非常に強固で重量のあるものとなる。したがって、セグメントの製造に際しては、鋼製の型枠を振動台で揺すりながら硬練りコンクリートを打設するため、振動と騒音が作業環境を悪化させている。一方、トンネル径の拡大化、セグメント幅の拡大化によりセグメントが大型化する傾向にあり、振動台も大型化が要求され、騒音等の環境問題がより深刻化すると思われる。また、セグメント組立てのロボット化に伴い付属の金物が増し配筋が複雑になるため、コンクリートは益々充填にくい状況となっている。ところで、近年、岡村等は振動締め固めを必要とせずに高品質を得られるハイパフォーマンスコンクリートの提案を行っており [1]、ハイパフォーマンスコンクリートに代表される締固め不要コンクリートは現場施工のコンクリートのみならず、上記の問題を抱えるコンクリートセグメントなどの二次製品の製造にも有効と考えられる [2]。

本報告は、コンクリートセグメントの製造の省力化・環境改善等を目的として、締固め不要コンクリートをセグメント製造に適用するために実施した、施工性および品質に関する検証実験の結果を報告するものである。

2. 実験概要

2. 1 実験概要

検証実験に用いたセグメントは図-1に示す形状・寸法である。部材厚さは125mm、鉄筋の被りは19mm、最小鉄筋間隔は27mm、鉄筋径は主筋がD13mm 配力筋がD10mm である。

実験は、セグメントに打設するコンクリートの配合を決定するための「配合選定試験」、セグメントへの充填状況を検証する「充填試験」およびコンクリート上部表面の気泡発生状況をモデル型枠で検証する「仕上がり面比較試験」に分けて実施した。

2. 2 コンクリートの配合条件および配合

実験に適用するコンクリートの強度条件は、打設後24時間の脱型強度を150 kgf/cm² 以上、材令28日における圧縮強度を600 kgf/cm² 以上とした。また、脱型後の養生は原則7日間水中養生の後気中養生とした。なお、従来のセグメントにおいて実施している蒸気養生は行わないこととした。コンクリートの配合は、表-1に示す配合を基本とした。表-1に示した配合は先に述べた配合選定試験を実施して決定した。配合選定試験は、図-1に示したセグメントの1/4の寸法で厚さは同じアクリル性透明型枠に、鉄筋および金物を配置し型枠上部に設けた投入口より毎秒

* 1 佐藤工業㈱中央技術研究所 土木研究部 (正会員)

* 2 佐藤工業㈱土木本部土木部

* 3 佐栄建工㈱設計課

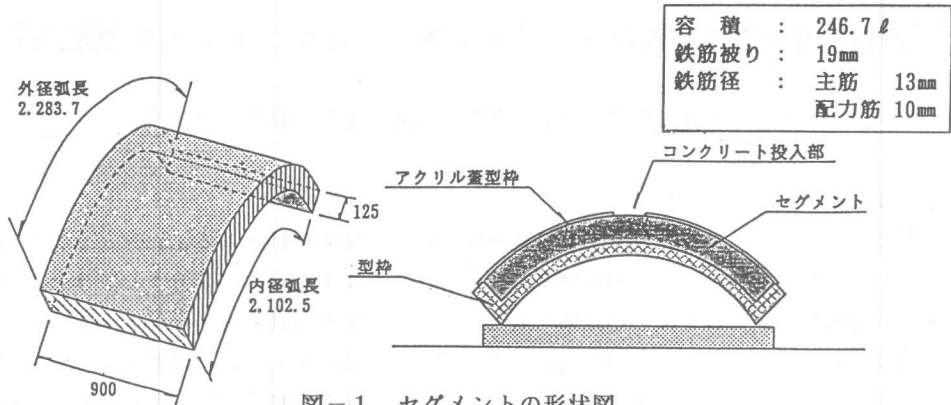


図-1 セグメントの形状図

0.1 リットルの速度でパイプレータを用いずスランプフロー55~70cm, Vロート流下時間 [3] 5~20秒のコンクリートを自然流下による方法で投入した。

配合の判定は、モデル型枠への充填率が 100%となり、かつ前述の強度条件を満足することとした。この結果、充填率100%を確保できるコンクリートのフレッシュ性状はスランプフローの範囲60~65cm, Vロート流下時間10秒以内で、このときの条件を満足する配合として表-1に示す配合が得られた。なお、コンクリートの練り混ぜ方法は図-2に示す手順とした。

表-1 コンクリートの配合

No.	G _{max} (mm)	空気量 (%)	W/V _p (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/ m ³)					
						W	C	S	G	Ad 1	Ad 2
1	15	4	110	34.9	51.3	202	578	755	737	6.35	3.47
2	15	4	115	36.4	51.3	206	566	755	737	6.23	3.40

C: 普通ポルトランドセメント 比重 = 3.16 比表面積 = 3340 cm²/g

S: 細骨材 相模川産川砂 比重 = 2.56 FM = 3.06

G: 粗骨材 厚木市産碎石 比重 = 2.63 FM = 6.23

W/V_p: 水粉体容積比

Ad. 1: 高性能A E減水剤 (ポリカルボン酸系)

Ad. 2: 空気連行剤 (変性アルキルカルボン酸化合物系)

2. 3 充填試験

充填試験は、配合選定試験で得られた表-1に示す配合のコンクリートを図-1に示したセグメント型枠に以下に述べる方法により打設した。打設方法は、ホッパーによる自然流下方式、スクイズ式コンクリートポンプによる流し込み方式およびコンクリート内に圧送ホースの筒先を保持しながら打設する方式の3種類である。セグメントは、各打設方式ごとに1体ずつ計3体は打設した翌日脱型し、その後1週間水中養生の後気中に放置した。また、自然流下方式については1体脱型後気中に放置する方式についても追加した。このようにして作成したセグメントは、充填性および脱型後の硬化収縮によるひびわれの発生の有無を観察した。

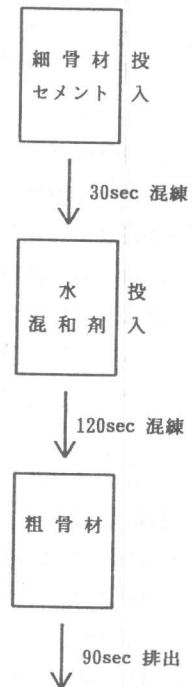


図-2 練り混ぜ方法

2. 4 仕上がり面比較実験

セグメント上面の蓋型枠部に発生する気泡の発生状況およびコンクリートの品質を検証する目的で、図-3に示すモデル型枠（設置角度可変式）を用いて蓋型枠部の材質を変化させて表-1に示した2種類のコンクリートを打設し、硬化後の仕上がり面の気泡の発生状況、コア強度、および中性化促進試験による表面の品質の比較を行った。供試体は打設後24時間で脱型しその後所定の期間気中養生（温度20℃、湿度65%）を行った。中性化促進試験は、炭酸ガス濃度10%、温度40℃、湿度65%の状態を実施した。蓋型枠の材質および型枠の設置角度は表-2に示すとおりである。

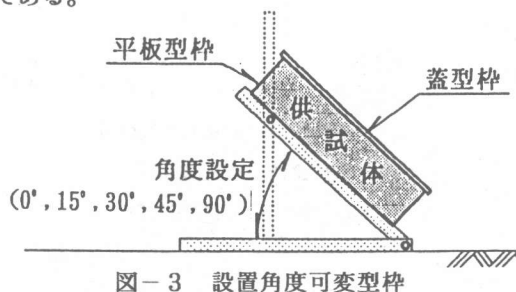


表-2 仕上がり面比較実験の因子と水準

因子	水準
使用材料	化粧合板、 透水性・通気性シート
設置角度 (°)	0, 15, 30, 45, 90
配合 (W/Vp) (%)	110, 115

3. 実験結果

3. 1 充填実験

以下に充填実験の観察結果を述べる。

充填性は各打設方法とも良好で、継手金物背面にも振動締固めなしにコンクリートが充填されることが確認された。ただし、ホッパーによる自然流下方式の場合、コンクリートの供給が一旦途絶えるとセグメントのように部材厚さが薄く表面積が大きい場合には、再度コンクリートを供給しても流動しない箇所が生ずる現象が認められた。この場合は2, 3回表面の型枠を軽打することで再び流動性が得られた。一方、ポンプによる打設の場合は同様の状況を与えても、ポンプの圧送圧力により容易に流動性が復元した。一方、セグメントの表面の仕上がり状態は、底面および側面ではとくに美観を損ねる気泡は認められなかった。しかし、蓋型枠部の水平に近い部分には打設完了と同時に気泡の発生が認められた。また、硬化後のひびわれの発生については、脱型後水中養生したものについてはとくに問題は無く、気中養生のものについては脱型後2週間で、一部亀甲状のヘアークラックが認められたが以後の進展は認められなかった。

3. 2 仕上がり面比較実験

図-4に蓋型枠の材質別に型枠の設置角度と気泡の発生個数の関係を示す。また、図-5には設置角度ごとのコアの強度試験結果を示す。図-4より、化粧合板の場合には設置角度90度以外には気泡の発生が顕著である。一方、透水性・通気性シートを用いた場合は設置角度0度の場合でも化粧合板の設置角度90度と同等となり、とくに配合1の場合には15度以上の設置角度を保てばほとんど問題とならないことがわかる。したがって、シートを用いない場合は気泡の発生を抑制するために、できる限り仕上がり面を90度に保つか、セグメントを立てることにより蓋型枠部の面積を減少させる対策が必要である。一方、シートを用いる場合には設置角度による影響が少ないためとくに制約はないと思われる。つぎに、図-5より設置角度と強度との関係を見ると設置角度による強度差は認められず、締固め不要コンクリートの場合、設置角度は強度に影響してい

ないことがわかる。現在実施中の中性化試験結果（3か月経過）でも特に差は認められないことから、気泡は美観上の問題としてとらえて差支えないと思われる〔4〕。

4. まとめ

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) コンクリートセグメントのように部材厚さが薄く配筋が密でも締固め不要コンクリートを用いることで、パイプレタによる振動締固めなしに十分な充填性が得られる。
- 2) 打設中にコンクリートの供給が中断した場合、自然流下方式で打設する場合、再度流動性を得るためには、わずかではあるが何等かのエネルギーが必要である。一方、ポンプによる打設方式の場合、同様の条件でも容易に流動性が復元する。
- 3) セグメント蓋型枠部表面には、打設後流動時に巻き込んだと思われる気泡が発生する。この気泡は90度の面には発生しないため、仕上がり面をできる限り90度に保つか、蓋型枠部表面の面積を最小にするような型枠の設置方法が必要である。
- 4) セグメント蓋型枠部表面の気泡を抑制する方法として透水性・通気性シートが有効である。
- 5) 表面に発生する気泡がコンクリートの品質に与える影響は小さく、美観上の問題と考えられる。

5. おわりに

本実験を通じ、東京大学工学部土木工学科の岡村甫教授ならびに小沢一雅助教授に貴重なご意見を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小沢一雅ほか：ハイパフォーマンスコンクリートの開発，コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 11, No. 1, pp. 699-704, 1989
- 2) 本間雅人ほか：ハイパフォーマンスコンクリートを用いた工場製品の製造実験，コンクリート工学年次論文報告集・Vol. 14, No. 1, pp. 69-74, 1992
- 3) 坂田昇ほか：フレッシュコンクリートの充填性評価のためのロート試験，土木学会第47回年次学術講演会，第5部，pp. 566-567, 1992
- 4) 左東有次ほか：締固め不要コンクリートを用いた部材における表面気泡が耐久性性能に及ぼす影響，プレストレストコンクリート技術協会第3回シンポジウム論文集，pp. 245~250, 1992

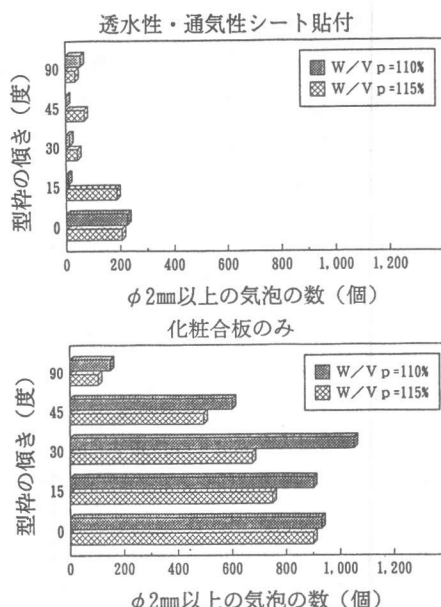


図-4 型枠の傾きと気泡発生数の関係

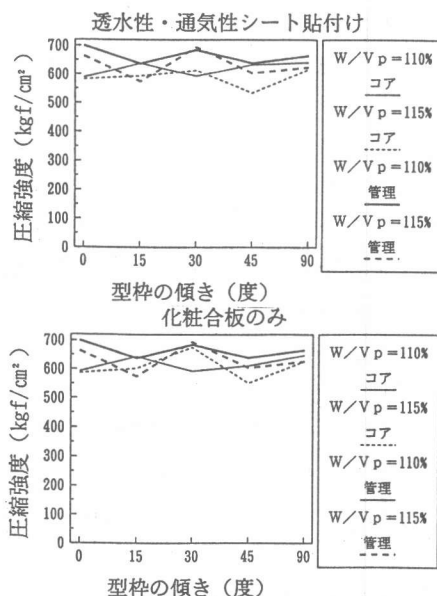


図-5 型枠の傾きと圧縮強度の関係