

35°Cを超えるコンクリートのフレッシュ性状とコールドジョイントに関する基礎的研究

○大塚三喜夫*1 栗田英明*1 栗田昌治*1 河野秀和*1 大川裕*2

要旨：暑中期において、コンクリート温度が 35°Cを超えるコンクリートの品質及び施工時に発生する打重ね箇所のコールドジョイントについて、打重ね時間の違いによる強度特性の実験を実機により行った。

フレッシュコンクリートでは、経時によるスランプの低下が大きく、現在暑中コンクリートで使用している高性能 AE 減水剤ではなく、スランプロスを解決できる適切な高性能 AE 減水剤遅延形を選定する必要があることがわかった。圧縮強度は、コンクリート温度が上がるとやや低下する傾向を示したが、特に大きく低下するものではないことがわかった。曲げ強度は、コンクリート温度が 30°C及び 35°Cいずれも打重ね時間が経過するにつれて低下する。また、プロクター貫入抵抗値が試験値 0 であっても曲げ強度は低下すること、その影響は水平継目よりも鉛直継目のほうが大きいなどの結果が得られた。

キーワード：暑中コンクリート、コンクリート温度、打重ね、圧縮強度、曲げ強度、凝結時間

1. はじめに

暑中コンクリートのコンクリート温度に関する規定では、(社)土木学会コンクリート標準示方書¹⁾では打込み時のコンクリート温度を 35°C以下に、また(社)日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事²⁾では、荷卸し時のコンクリート温度を 35°C以下とするように定めている。しかしながら、地球温暖化による気温の上昇やコンクリート構造物の高強度化、高耐久化に伴う富配合品の増加等により、荷卸し時のコンクリート温度を 35°C以下にすることが困難な場合もあり、35°Cを超えたコンクリートの研究^{3) 4)}が報告されている。このような現状のなか、広島県東部地区においても、近い将来のことを考え、コンクリート温度 35°Cを超えたコンクリートの諸性質を把握することを目的とし、実機試験を実施した。

2. 実験概要

実験は、コンクリート温度の違いがコンクリートの諸性質に及ぼす影響を検証するものである。

実験は実機で行い、実験Ⅰはコンクリート温度 30°Cにおける特性を、実験Ⅱはコンクリート温度が 35°Cを超える特性を検証したものである。実験の要因と水準を表-1に示す。

実験Ⅰは、当地区の一般的な運搬時間 30 分を考慮し、練混ぜから 30 分後を現場到着時として供試体を作製し、コールドジョイントの発生を検証するために 30 分毎に新たに練混ぜたコンクリートを打重ね、曲げ強度試験とその時点の凝結試験を実施した。

実験Ⅱは、練混ぜ後 5 分後に供試体を作製し、コールドジョイントの発生を検証するために 30 分毎に同一コンクリートを打重ね、曲げ強度試験を実施した。また、運搬の「有」とは、測定までの時間を実際の運搬における環境と一致させるため場外を走行させたものであり、「待機」は工場内で試

*1 広島県東部生コンクリート協同組合 技術委員会

*2 大川技術士事務所

験時間まで直達日射にあたらなように待機させたものである。

表－1 実験の水準と要因

| 実験 | 記号 | 目標コンクリート温度(℃) | 運搬 | 直達日射 | 試験項目 |
|----|------|---------------|----|------|---|
| I | 30-1 | 30 | 待機 | 有 | スランプ、空気量、コンクリート温度、圧縮強度、曲げ強度、凝結時間、ブリーディング、 |
| II | 35-1 | 35 | 有 | 有 | スランプ、空気量、コンクリート温度、圧縮強度、曲げ強度 |
| | 35-2 | | 待機 | 無 | |

3. 試験方法

試験項目と試験方法は、表－2に示すほか以下による。

3.1 フレッシュコンクリート

練混ぜから 30 分、60 分及び 90 分毎にスランプ、空気量及びコンクリート温度を測定した。

3.2 硬化コンクリート

(1) 圧縮強度

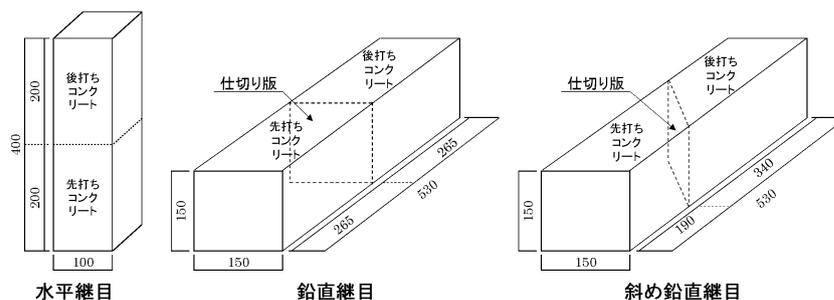
実験 I 練混ぜ後 30 分を製品検査とした。実験 II においては、練混ぜ 5 分後の試験で採取した試料を工程検査とし、練混ぜ後 30 分、60 分及び 90 分を製品検査とみなした。

よって、採取した供試体の保管方法は、練混ぜ 5 分後は通常の工程検査と同様に室内での保管とし、30 分、60 分及び 90 分後に採取した供試体は製品検査と環境条件を一致させるため屋外での保管とした。なお、供試体は直径 10cm 高さ 20cm の円柱供試体である。

(2) 曲げ強度

コールドジョイント発生に及ぼす打重ね時間の影響を検証するため、曲げ強度試験を実施した。供試体の作製方法は、w100×100×h400 mm の鉛直型枠に高さ約半分に二層に分けて打ち込んだもの（水平継目）、w150×h150×L530 の曲げ強度試験用型枠に長さ方向の中央に仕切り版を入れ、二回に分けて打重ねたもの（鉛直継目）、及び実験 I では、斜めに打重ねた場合の破断面を確認するため斜め鉛直継目を追加した。曲げ強度供試体の作製方法を図－1に示す。

供試体の作製は、実験 I では練混ぜから 30 分後に一体打ちと先打ちコンクリートを詰め、その後 30、60、90 分後にそれぞれ練混ぜから 30 分経過した後打ちコンクリートを打重ねた。実験 II では 1 車目のアジテータ車から採取した試料を打重ね時間 0（一体打ち）とし、30、60、90 分後に同じコンクリートを後打ちコンクリートとして打重ねた。



図－1 曲げ強度試験供試体の作製方法

表－2 試験項目と試験方法

| 試験項目 | 試験方法 |
|----------|------------|
| スランプ | JIS A 1101 |
| 空気量 | JIS A 1128 |
| コンクリート温度 | JIS A 1156 |
| ブリーディング | JIS A 1123 |
| 凝結時間 | JIS A 1147 |
| 圧縮強度 | JIS A 1108 |
| 曲げ強度 | JIS A 1106 |

4. コンクリートの配合ならびに使用材料

試験に使用する配合は 33-18-20N とし、配合を表-3 に、使用材料を表-4 に示す。

表-3 コンクリートの配合

| W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | |
|------------|------------|--------------------------|-----|-----|-----|------|
| | | C | W | S | G | SP |
| 46 | 51.2 | 392 | 180 | 885 | 846 | 2.35 |

表-4 使用材料

| 材料 | 種類 | 産地・銘柄 |
|--------|---|----------|
| セメント C | 普通ポルトランドセメント：密度 3.16 g/cm ³ | |
| 細骨材 | S1 石灰砕砂：表乾密度 2.65 g/cm ³ | 大分県津久見市産 |
| | S2 砕砂：表乾密度 2.62 g/cm ³ | 福山市瀬戸町産 |
| | S3 高炉スラグ細骨材：表乾密度 2.71 g/cm ³ | 福山市産 |
| 粗骨材 | G1 碎石 2010：表乾密度 2.66 g/cm ³ | 福山市瀬戸町産 |
| | G2 碎石 1505：表乾密度 2.66 g/cm ³ | 福山市瀬戸町産 |
| 水 W | 上澄水 | |
| 混和剤 Ad | 高性能 AE 減水剤遅延形 | |

S1 : S2 : S3 = 50 : 35 : 15 (容積比)、G1 : G2 = 50 : 50 (容積比)

5. 試験結果

5.1 フレッシュコンクリートの性状

経時変化の試験結果を表-5、及び図-2~図-4 に示す。

表-5 実機による経時変化の試験結果

| 実験 | 記号 | 5 分後 | | | 30 分後 | | | 60 分後 | | | 90 分後 | | |
|----|------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | | スランプ (cm) | 空気量 (%) | CT (°C) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | CT (°C) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | CT (°C) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | CT (°C) |
| I | 30-1 | 19.5 | 6.2 | 29.0 | 18.0 | 6.8 | 30.0 | 16.0 | 6.3 | 30.0 | 12.0 | 5.9 | 30.0 |
| II | 35-1 | 19.5 | 6.0 | 36.5 | 17.5 | 6.5 | 36.5 | 12.0 | 5.9 | 36.0 | 6.5 | 4.0 | 36.5 |
| | 35-2 | 21.5 | 5.9 | 36.5 | 19.0 | 6.3 | 36.5 | 13.5 | 6.0 | 37.0 | 8.0 | 4.4 | 37.0 |

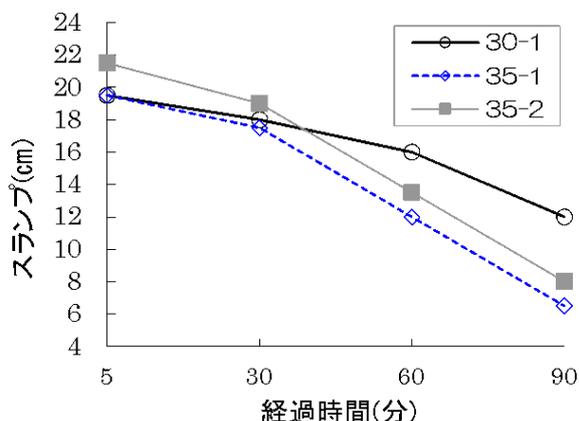


図-2 スランプの経時変化

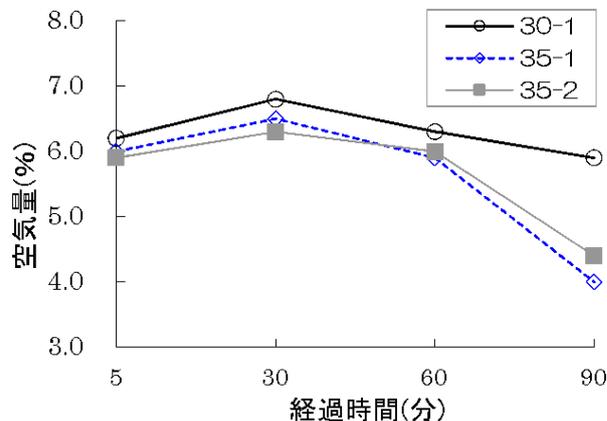


図-3 空気量の経時変化

5.1.1 スランプの経時変化

経時によるスランプの低下は練混ぜ直後からほぼ直線的に低下しており、特にコンクリート温度 35℃ではスランプの低下が大きく、スランプの保持の手法を確立する必要がある。スランプの経時変化においては、直達日射の有無の影響は見られなかった。

5.1.2 空気量の経時変化

経時による空気量の変化は、経過時間 30 分でやや増加したが 60 分で練混ぜ時とほぼ同等となり、コンクリート温度 35℃では経時 90 分の空気量の低下が大きかった。

5.1.3 コンクリート温度

コンクリート温度は実験 I では練混ぜ時に 29℃が経時 90 分で 30℃に、実験 II では練混ぜ時に 36.5℃が経時 90 分で 37℃と練混ぜ時からほとんど変化はしなかった。また、直達日射の影響については認められなかった。一般には、経時によってコンクリート温度は 1~3℃上昇するといわれているが、今回の実験では最大 1℃の上昇であった。散水したドラムカバーを使用したため、あまり影響がなかった可能性がある。

5.1.4 ブリーディング試験

ブリーディング試験は、実際の現場打設時の状況に近づけるため、試験場所を屋外の暑中環境下とし、容器には蓋を付けることなく実施した。その結果、表面は湿った状態であるもののブリーディング水として測定できるほどの量は認められなかった。

5.1.5 凝結試験

実際の現場打設時の状況に近づけるため、屋外の暑中環境下の曲げ試験用供試体のすぐ近くで、コンクリート表面を覆うこと無しで測定した。凝結試験結果を表-6に示す。

表-6 凝結試験結果

| 時間 (分) | 一体(30) | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 |
|-------------------------------|--------|----|----|------|------|------|------|------|
| 貫入抵抗値 (N/mm ²) | 0 | 0 | 0 | 0.03 | 0.09 | 0.68 | 2.18 | 6.75 |

コールドジョイントの発生は(社)土木学会では、プロクター貫入抵抗値として 0.1~1.0 N/mm²と言われている。また、(社)日本建築学会 JASS 5 では打重ね許容時間の目安として、一般の場合貫入抵抗値が 0.5 N/mm²と言われている。今回の試験結果は 120 分で 0.03 N/mm²、180 分で 0.68 N/mm²であり、打重ねを実施した時間における貫入抵抗値はこれらの値を下回っている時期であることが確認できた。

5.2 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験の結果を図-4、図-5に示す。

直達日射の影響は 2N/mm²程度と小さく、これが日射による影響かバッチ間のばらつきかはデータを蓄積する必要がある。

一方、コンクリート温度が 35℃を超えた圧縮強度のばらつきは大きいものの、30℃においてもばらついており、温度が高くなってもそれほど大きく低下しないことが確認できた。

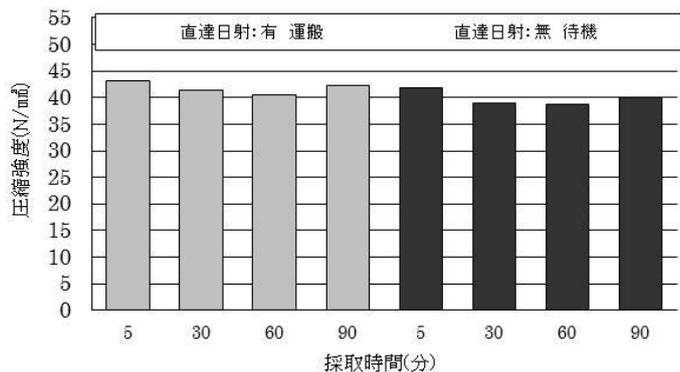


図-4 圧縮強度試験結果(実験Ⅱ)

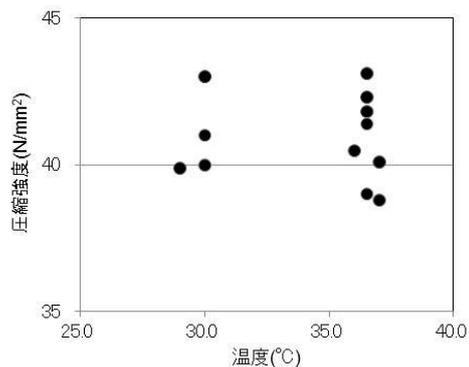


図-5 コンクリート温度と圧縮強度の関係(実験Ⅰ・Ⅱ)

5.3 曲げ強度試験結果

実機試験による曲げ強度試験の結果を図-6、図-7に示す。

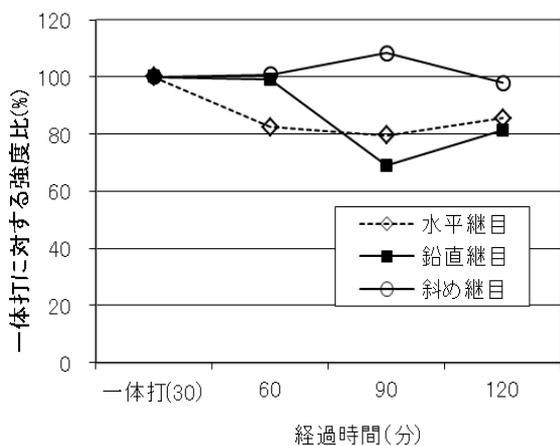


図-6 曲げ試験結果(実験Ⅰ)

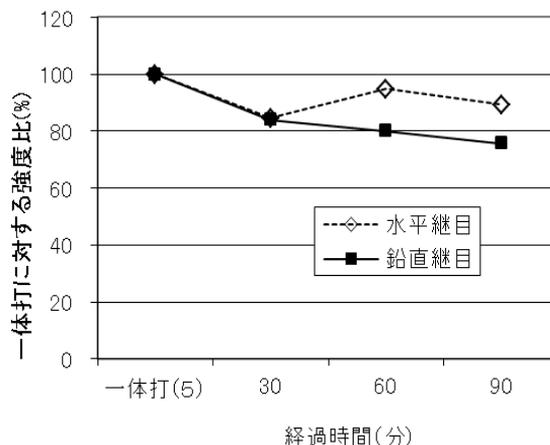


図-7 曲げ試験結果(実験Ⅱ)

実験Ⅰおよび実験Ⅱいずれにおいても、打重ねをした供試体の曲げ強度は、打継ぎ時間間隔が長くなるにつれて低下する傾向を示した。一体打ちの強度に比べおおよそ70%程度まで低下した。特に実験Ⅰの鉛直継目の90分は大きく低下し、表-6で示したプロクター貫入抵抗値は0であったにも関わらず、曲げ強度は一体打ちの約70%程度であった。今回、供試体の作製は突き棒によって行ったが、経過時間が長くなるにつれて下層の表面は硬くなり、突き棒が下層まで入らなかった可能性がある。

90分を経過した供試体の破断面を比較すると、写真-1に示すように、水平継目では粗骨材との界面に沿って破壊しているが、鉛直継目では新旧コンクリートの接着面で破断したと思われた。

斜め鉛直継目の曲げ強度は、それほど強度の低下は認められなかった。また、破断箇所は打継目端部より垂直に破壊している。



写真-1 コンクリートの破断面

6. まとめ

本実験から以下の知見が得られた

- ① 暑中期におけるフレッシュコンクリートの性状は、30℃前後で使用している高性能 AE 減水剤遅延形では、35℃前後のコンクリートの経過時間に伴うスランプの低下を抑制するのは困難である。
- ② コンクリート温度は練混ぜから 90 分の間ではほとんど変わらなかった。
- ③ 圧縮強度試験に於いて、圧縮強度は試料採取時間が遅くなるに従い低下するが、その値は比較的少ない。また、35℃となっても 30℃に比べて大きな強度低下は認められなかった。
- ④ 曲げ強度試験に於いて、打重ねた供試体の曲げ強度は経過時間に伴い低下するが、特に鉛直継目では貫入抵抗値が 0 であっても強度低下が大きかった。
- ⑤ フレッシュコンクリートの経時変化やコンクリート温度、圧縮強度に関しては、直達日射の影響は認められなかった。

最後に、実験に際し、ご指導とご協力をいただいた福山大学南教授、九州大学大学院小山准教授、研究室の皆さん、BASF ジャパン(株)、(有)小林化成に謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕2007
- 2) (社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009
- 3) 倭宏之ほか：35℃を超えたコンクリートの基礎的研究，第 17 回（2013）生コン技術大会，pp.101-106，2013.
- 4) 栗延正成ほか：暑中におけるコンクリートのフレッシュおよび硬化性状に関する研究，第 17 回（2013）生コン技術大会，pp.107-112，2013.