

暑中環境で施工される床スラブコンクリートの構造体強度補正值に関する検討

橋本 聖良

1. 暑中コンクリートについて

コンクリートは、水とセメントの化学反応、すなわち水和反応によって硬化が進んでいく。この水和反応は、温度や水の乾燥などの影響を受けるものであり、コンクリートの品質を確保するためにはこの水和反応への影響を及ぼすものを把握したうえで適切な管理のもと施工する必要がある。特に、国内の過酷化する暑中環境下で施工されるコンクリートは、高い外気温や強い日射などの影響で不具合を起しやすく、適切な対策が必要不可欠である。気温が高いなかで施工されるコンクリートは、以下のような不具合を生じることがある。^{1),2)}

- ・スランプの低下(スランプロス)
- ・コールドジョイント
- ・初期ひび割れ
- ・乾燥収縮ひび割れ
- ・長期強度の増進の鈍化
- ・耐久性の低下

これらの原因として、暑中期においては高い外気温、強い日射などによるコンクリート中の水分の蒸発量が大きくなりやすきことがあげられる。蒸発量が増えると、水和反応に必要な水が足りなくなることによって硬化体組織が緻密に形成できなくなり、コンクリートの耐久性の低下につながる。そのため、日本建築学会暑中コンクリートの施工指針・同解説²⁾(以下暑中指針)では以下にあげるような規定がある。

1) 材料や運搬面での配慮

暑中期における受入れ時のコンクリート温度は、原則として35℃以下であり、その温度を超えている場合においては、38℃までは工事監理者の承認を得ることができた場合にのみ施工することができる。そのため、この暑中期における荷卸し時の高

いコンクリート温度への対策として、過度な練混ぜ時間の超過を防ぐことや運搬時間を短縮すること、アジテータ車のミキサー部分の塗装への工夫などがあげられている。

2) 養生

暑中コンクリートにおいて、高温の外気温や日射により初期の乾燥を防ぐ養生が重要である。そのため、暑中指針では耐久性を確保するために養生期間は5日間となっている。

2. 本研究の目的

コンクリートの強度を定める場合、施工で求められる品質基準強度に対してセメントの成分や外気温に応じた強度の発現の差を補強した調合管理強度を設定するために、構造体強度補正值(S値)が設けられており、日本建築学会建築標準仕様書・同解説 鉄筋コンクリート工事 JASS5(以下JASS5)¹⁾において暑中期では $S=6N/mm^2$ 、その他の時期は $3N/mm^2$ と規定されている。構造体補正值は、暑中期では他の部材と比較して部材厚が大きい場合、外部への熱放出が少なく、内部温度が高くなりやすき、そのため長期強度の伸びが小さくなりやすき柱の強度を担保するために定められている。

一般的にRC造では、柱や梁、床といった構造体コンクリートと一緒に打設するため、すべての部材で同じ配合のコンクリートが使われる。そのためS値はすべての部材について一律に定められる。しかし、柱などの構造体に鉄骨を使用したうえで、床スラブのみをコンクリートを使用する場合には床スラブ専用のコンクリート配合を設定することが可能である。

そこで、暑中期において床スラブのみを打設する場合にはS値を小さく規定することができると考え、本研究では床スラブコンクリートの暑中期のS値を $6N/mm^2$ から $3N/mm^2$ へ低減することを検討することを目的として表1に示すような実験を行った。

表1 実験概要

試験体	寸法(mm)	養生			検討項目
		方法	日射	その他	
管理用供試体	Φ100×200	標準養生	日陰	脱型後水中養生	・空気量 ・スランプ ・荷卸し時のコンクリート温度 ・蒸発量 (重量変化による) ・内部温度測定 (材齢28日まで10分間隔) ・圧縮強度試験 ・密度測定
		3日現場封かん後標準養生			
		現場封かん養生			
柱模擬試験体	1000×1000×1000	湿潤養生	材齢5日まで せき板存置		
壁模擬試験体	500×900×200				
床模擬試験体	900×900×200	給水-フィルム養生	直射日光下	材齢7日まで せき板存置	
			日陰		
		無養生	直射日光下		
			日陰		

3. 実験概要

3.1 検討項目

本研究では、先に述べた目的のために図1に示すような実大模擬試験体の施工実験を行った。試験はJISに準拠して出荷時と荷卸し時にスランプ、空気量、コンクリート温度を測定したうえで、蒸発量をΦ100×200mmの円筒容器を用いて打設直後から30分間隔で重量変化を記録し、コンクリート表面からの水分蒸発量を測定した。また、内部温度については打設直後から10分間隔で28日間測定した。打込み時の気象データに関しては、日陰と日向の空気温度と相対湿度、風速、日射、雨量を測定した。空気温度と湿度に関しては実験終了まで測定を継続した。

構造体においては図1に示した場所においてコア抜きを行い、採取した供試体について、4週及び13週に圧縮強度と密度を測定した。また、硬化体コンクリートの試験として、管理用供試体において3日、1,4,8,13週で圧縮強度、密度を測定した。

3.2 調合および使用材料

表2に使用材料、表3に調合を示す。設定した呼び強度は21,30,42N/mm²とし、呼び強度21,30N/mm²にはAE減水剤(遅延形)、呼び強度42N/mm²には高性能AE減水剤を混和剤として使用した。また、膨張剤を全ての調合に用いた。

目標スランプ値は、鋼構造建築の床スラブ用のコンクリートとして一般的な15±2.5cmとした。

3.3 養生方法

コンクリートは、練り混ぜ後トラックアジテータに積み込んで30分経過した後に隣接する敷地内に設置した型枠に打ち込んだ。打設したコンクリートは、表1に示した養生を所定の材齢で開始した。脱型は、JASS5に従い、柱、壁試験体については材齢5日で行い、床模擬試験体においては脱型しないものとした。床試験体の養生は、材齢7日まで「給水-フィルム養生」を施した。同養生は、打込み当日の押さえが終了した直後に散水し、翌朝に再度散水した後、ポリフィルムをかける養生方法である。これと比較するために無養生のものも設定し、日射の影響も

含め、養生の効果を検討した。柱、壁模擬試験体は仮設資材による雨養生を行い、期間は打設当日から実験終了日である材齢91日までとした。床模擬試験体の直上は25mmのスタイロフォームで断熱し、防炎シートを屋根とした。なお、供試体の養生は脱型までの3日間20±3℃の恒温室に静置後に同じ温度条件で水中養生、3日間現場封緘とした後に脱型後は同様に標準養生を行ったもの、打込み直後から現場封緘養生の3種類の条件を設定した。

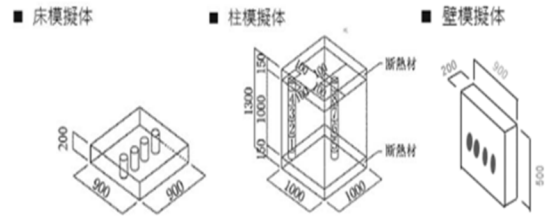


図1 模擬試験体の概要

表2 使用材料

材料	記号	種類
セメント	C	普通ポルトランドセメント
水	W	地下水
粗骨材	G	栃木県佐野市産砕石(石灰岩)
細骨材	S1	栃木県佐野市産砕石(石灰岩)
	S2	千葉県香取市産砂
混和剤	Ad1	膨張剤
	Ad2	AE減水剤(遅延形)
	Ad3	高性能AE減水剤(遅延形)

※記号は表3に対応

表3 調合

呼び強度 (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								目標値	
			C	W	S1	S2	G	Ad1	Ad2	Ad3	空気量	スランプ
21	61.0	48.8	292	178	652	217	948	20	3.65	-	4.5%	15±2.5 cm
30	48.0	45.5	377	181	581	193	964	20	4.70	-		
42	38.5	44.8	424	163	575	191	980	20	-	4.03		

表4 フレッシュコンクリートの性状

呼び強度 (N/mm ²)	試験時間		スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	コンクリート温度 (℃)	塩化物含有量 (kg/m ³)
	練上がり時間	試験時間				
21	8:30	9:00	17.0	33.0×32.5	33.0	0.039
30	9:37	10:06	16.5	28.0×27.0	32.0	0.059
42	10:30	11:00	17.0	34.5×33.5	33.0	0.044

※外気温度はいずれも約30℃

4. 実験結果および考察

外気温度が約 30°Cである暑中環境下で実大模擬施工実験を行った。以下に各実験の結果を示す。

4.1 圧縮強度試験

図 2 に管理用供試体の材齢 28 日における圧縮強度, 図 3, 4, 5 に材齢 91 日における圧縮強度の結果を示した。床スラブの模擬試験体から採取した供試体の圧縮強度は, いずれの調合においても同じ日射条件で比較した場合に, 給水—フィルム養生を行ったほうが養生しなかったものに比べ圧縮強度が大きい結果となり, 強度の差は 1.8~9.0N/mm²ほどであった。また, 養生を行った試験体について直射日光下と日陰で養生したものを比較すると, 日陰で養生したもののほうが 3.2~3.4N/mm²ほど圧縮強度が大きい結果となり, 養生によってコンクリート中の水分蒸発を防ぎ, 水和反応に必要な水分が確保され圧縮強度を増加させることができることや日陰では水分蒸発の減少, 日射によるコンクリートの温度上昇を受けにくいことため圧縮強度が大きくなるということを確認することができた。

4.2 内部温度

図 6 に各呼び強度の模擬試験体内部における最高温度を示した。内部温度は打設後 7~9 時間で最高温度に達したが, 内部最高温度は設定した全ての呼び強度で共通して, 柱(中心),柱(外側),壁,床スラブ(直射日光下),床スラブ(日陰)の順に高くなった。また, 床模擬試験体では呼び強度によらず直射日光下に存置したほうが日陰に存置したものより内部最高温度が 7.0~9.7°Cほど高い値をとったため, 養生の有無より日射条件の方が構造体内部における温度に大きな影響を与えられられる。

4.3 蒸発量

図 7 に各呼び強度における日射の条件によるコンクリート表面から蒸発する水分量の違いを比較するために, それぞれの呼び強度の日向及び日陰に静置した場合での, 蒸発量の試験結果を示した。蒸発量は呼び強度が低いほど, すなわち水セメント比が高いほど蒸発量が大きくなる傾

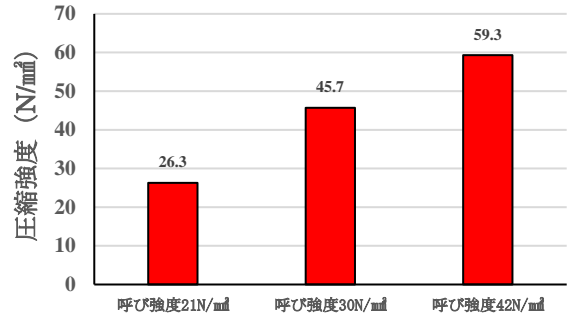


図 2 管理用供試体の圧縮強度 (材齢 28 日)

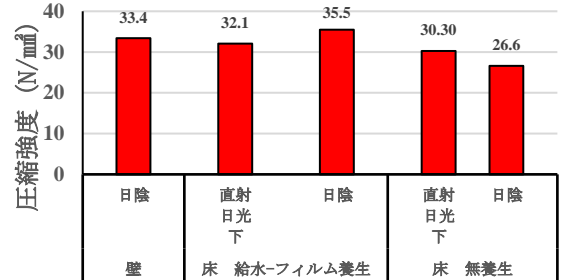


図 3 材齢 91 日におけるコアの圧縮強度 (呼び強度 21N/mm²)

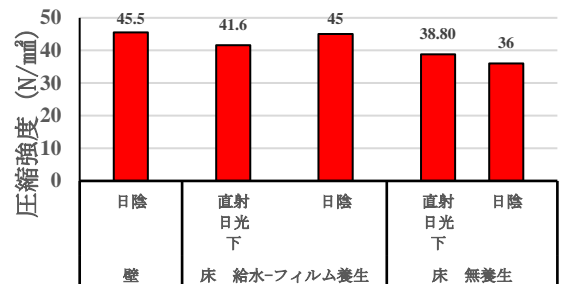


図 4 材齢 91 日におけるコアの圧縮強度 (呼び強度 30N/mm²)

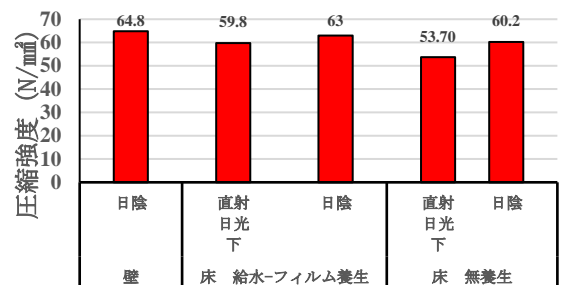


図 5 材齢 91 日におけるコアの圧縮強度 (呼び強度 42N/mm²)

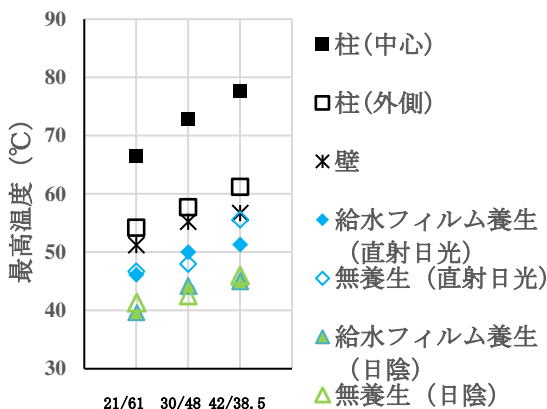


図 6 内部の最高温度

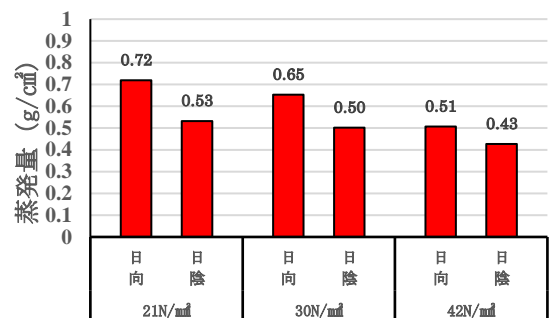


図 7 各呼び強度における蒸発量

向が確認された。次に、同じ呼び強度の調合で比較すると、蒸発量が少なかったものほど強度が大きくなる傾向がみられた。蒸発量が少ない場合には蒸発量が多いものと比較して、表面から失われる水分が少ないことにより、水和反応に必要な水が多くコンクリート内部に存在し、反応が促進されることにより圧縮強度が大きくなったと考えられる。さらに、蒸発量がブリーディング量を上回った時点からコンクリート表面の乾燥が始まるため³⁾、蒸発量が大きかった呼び強度が低い調合ほど表面の乾燥が始まるのが早くなると考えられる。そのため、水セメント比が高い調合ほど養生に注意が必要である。

4.4 密度

密度については、管理用供試体と柱及び壁の構造体模擬試験体から採取した供試体のいずれにおいても、養生方法にかかわらず、呼び強度が大きくなるほど密度が大きくなる傾向が見られ、密度が高いほど圧縮強度が高くなることが確認された。一方で、床スラブの模擬試験体から採取したコアにおいてはこの傾向はみられなかった。

5. 構造体補正值に関する検討

JASS5における構造体補正值の定義は、標準養生した供試体の材齢 28 日における圧縮強度と構造体コンクリートの材齢 91 日における圧縮強度の差である。そのため、構造体補正值を議論するために図 8, 9, 10 に本実験における各呼び強度の材齢 28 日における管理用供試体の圧縮強度と材齢 91 日の構造体強度の差を D 値として示した。本実験で得られた圧縮強度から D 値を算出した結果、負の値となったものがみられた。これは、構造体模擬試験体の圧縮強度が管理用供試体の強度を上回っていることを示している。材齢 28 日の管理用供試体における圧縮強度に対して材齢 91 日の構造体強度が下回ることを前提として本研究は行なわれている。そのため、本実験では供試体の強度が伸び悩む要因、もしくは模擬体の強度が想定より高まる原因があったと考えられる。

負の値を許容して床スラブの構造体補正值を検討するための D 値を算出した場合、呼び強度 21 N/mm²の調合では -9.2N/mm²（給水-フィルム養生/日陰）から -0.3N/mm²（養生無し/日陰）の値を取り、すべての模擬体において D 値が負の値となった。呼び強度 30 N/mm²の調合では、すべての模擬体構造体において D 値が 0.7N/mm²（給水-フィルム養生/日陰）から 9.7N/mm²（養生無し/日陰）であり、正の値を取ったが、給水-フィルム養生/日陰の条件のみが本実験の目標としている D 値=3N/mm²を下回ることとなった。呼び強度 42N/mm²の調合では、-3.7N/mm²（給水-フィルム養生/日陰）から 5.6N/mm²（養生無し/直射日光下）となり、養生条件が養生なし/直射日光下のもの以外は負の値を示した。設定した各呼び強度で共通して給水-フィルム養生/日陰の場合が最も D 値が低くなった。つまり、管理用供試体の圧縮強度が模擬体の圧縮強度を上回ることを仮定した場

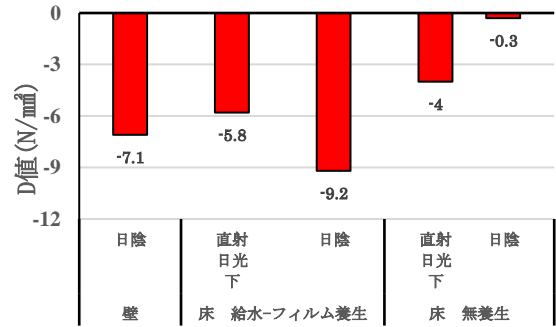


図 8 呼び強度 21N/mm²における D 値

※D 値は材齢 28 日における管理用供試体の圧縮強度と材齢 91 日における構造体強度の差（以下同じ）

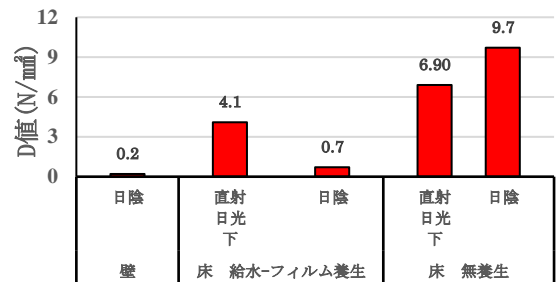


図 9 呼び強度 30N/mm²における D 値

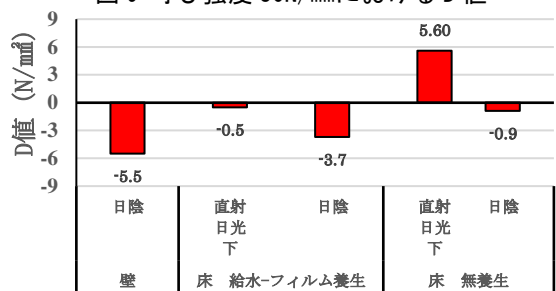


図 10 呼び強度 42N/mm²における D 値

合に $S < 3N/mm^2$ を取る可能性が最も高いコンクリートの養生条件は、給水-フィルム養生/日陰となることが分かった。

6. まとめ

本研究では床スラブコンクリートにおける構造体補正值について以下の知見を得た。

- 1) 日陰で給水-フィルム養生を行った床スラブ模擬体の構造体強度補正值は $3N/mm^2$ 以下を取る可能性がある。
- 2) 養生を行わないものおよび直射日光下に存置したものに関しては、構造体強度補正值は $6N/mm^2$ 以上必要となる。

謝辞

本論文の執筆にあたって、指導教員の小山智幸教授には大変お世話になりました。また、株式会社 JFE シビル技術開発研究センター開発部山岡賢史氏をはじめ関係各位の多大なる協力を得た。ここに謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2022
- 2) 日本建築学会暑中コンクリートの施工指針・同解説
- 3) 原康孝・小山智幸ほか: 暑中環境で施工される床スラブコンクリートの養生に関する研究, 平成 28 年度九州大学大学院修士論文集, pp93~96