

急激な温度上昇履歴によるコンクリートの熱変形特性

学生氏名 山本 龍史

指導教員 栗原 哲彦 吉川 弘道

1.はじめに

急激な温度上昇により加熱されたコンクリートは、剥落・ひび割れ・強度低下など様々な劣化が生じる。しかし、その劣化が生じるメカニズムにおいては、未解明な部分が多い。その劣化に及ぼす要因の一つとして、コンクリートの熱変形があると考えられる。そのため本研究では、急激な温度上昇によるコンクリートの熱変形を明らかにすると共に、熱変形が及ぼす劣化性状の検討を行った。

2.実験概要

本実験では、W/C=30%,50%のコンクリート供試体(寸法:60×200×1200mm)を用いた。なお、シリーズ名をそれぞれC-30,C-50とする。各シリーズの配合及び硬化性状を表1に示す。作製した供試体をトンネルの上面に設置した模擬トンネルで加熱実験を行った。トンネル風下出口から550mmの位置に灯油の入った火源を設置し、灯油を燃焼させることにより加熱を行った。なお、灯油の不完全燃焼を防ぐためトンネル風上入口から送風を行った。ここで、トンネル内部の温度上昇を把握するために、K型シーす熱電対を図1に示すように設置した。また、供試体内部温度を把握するため、Point-a~mの位置に、加熱面から5mm・15mm・25mm・45mmと供試体内部にK型熱電対を設置した。

加熱面の熱変形挙動を把握するため、図2に示すように供試体上面に温度ゲージとひずみゲージ(許容最高温度:150)を併用した。また、ひび割れ性状の把握のため、加熱終了直後にひび割れを目視により確認し、ひび割れスケッチを行った。加熱実験後、最も強度低下するとされる1ヶ月間¹⁾気中に放置し、曲げ強度の測定を行った。

3.実験結果及び考察

3.1 火災曲線及び供試体内部温度

C-30とC-50の火災曲線(時間-温度曲線)の最高温度は若干異なるが、ほぼ同程度の温度上昇であったため、ここでは一例としてC-30の火災曲線を図3に示す。加熱開始から約5分で700度に達して、トンネル火災の特徴である急激な温度上昇し、加熱終了時まで高温を保持していることが確認出来る。ここで、供試体加熱面から5mm地点と45mm地点の内部温度結果を図4に示す(火源からの距離は、風下側を正、風上側を負とした)。火源側が火源反対側より供試体内部温度が高く、火源から150mm地点の火源側において、供試体内部温度の最高温度を捉えている。そして、その位置の加熱開始5分の加熱面から5mmと45mmでは、約70の温度差があり、時間経過するにつれ温度差が大きくなっている。また、火源から150mm地点では、時間経過しても温度変化がほとんどないことが確認できる。

表1 配合表

シリーズ名	W/C %	単位水置量(kg/m ³)							スランブ		空気量 %	曲げ強度 N/mm ²	圧縮強度 N/mm ²
		C	W	S	G	Ad1	Ad2	Ad3	cm	%			
C-30	30	588	176	639	928	-	4.33	0.04	17	3.5	8.00	63.0	
C-50	50	353	177	789	972	0.88	-	0.04	14	6.5	5.53	39.1	

C:セメント W:水 S:細骨材 G:粗骨材
Ad1:AE減水剤 Ad2:高性能AE減水剤 Ad3:補助AE剤

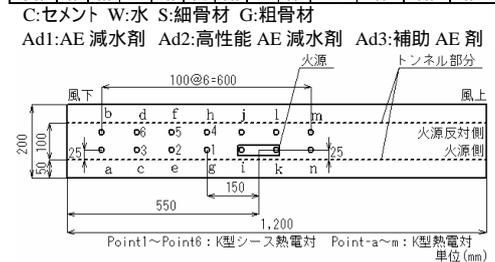


図1 熱電対配置位置

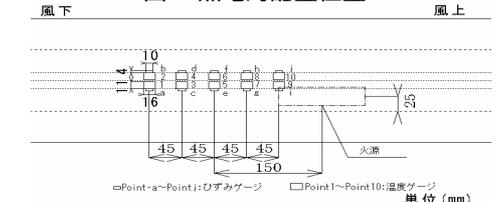


図2 ゲージ設置位置

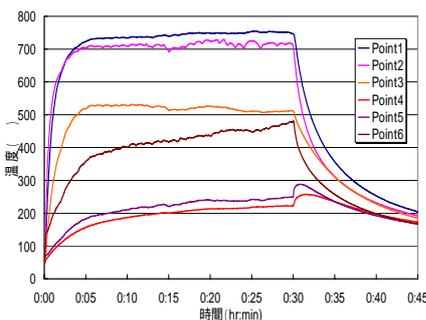


図3 火災曲線(C-30)

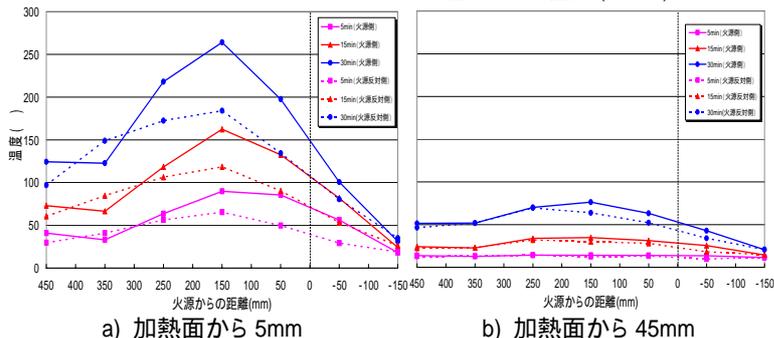


図4 供試体内部温度(C-30)

Key Words:熱変形, ひずみ, 受熱温度, ひび割れ, 強度低下

3.2 加熱に伴うコンクリートの熱変形挙動

C-30 と C-50 のトンネル長手方向のひずみ分布を図 5 に示す(圧縮ひずみが負, 引張ひずみが正とする)。加熱開始から 5 分では, 火源側および火源反対側の上面は, 測定したすべてのポイントにおいて圧縮ひずみとなり, 火源から 150mm 地点の圧縮ひずみが最も大きくなった。これより, 加熱開始から約 5 分では, 加熱面が熱膨張することで引張力が生じていると推測できる。また, C-30 が C-50 より圧縮ひずみが大きくなっていることが確認出来る。これは, C-30 の方が熱伝導は良く, 加熱面から 5mm 地点の受熱温度が高いため, C-50 に比べ加熱面に大きな熱膨張が生じたと考えられる。

加熱開始 5 分以降, 全ての測定ポイントにおいて, 引張に移行している。これは温度ゲージの測定結果より, 加熱開始から 5 分で上面の温度変化がみられることから, 加熱面の熱が上面へ熱伝導され, それに伴い上面においても長手方向の熱膨張が生じたためだと考えられる。

加熱開始 15 分以降, ほぼすべての測定ポイントにおいて, 火源側が引張ひずみとなっており, 火源反対側が圧縮ひずみとなっている。これは, 火源側が火源反対側より受熱温度が高いため(図 4 参照), 火源側の熱膨張が大きくなったためだと推測出来る。C-30 と C-50 のひずみ変化は, 同様な挙動を示したが, ひずみ量が C-30 の方が C-50 より大きくなっており, 高強度の方が普通強度コンクリートより熱変形するといえる。これらのことより, 加熱初期においては, 図 6 a) に示すように加熱面に熱膨張が生じることで, コンクリートが長手方向に熱変形し, 熱伝導が生じて火源側と火源反対側では, 温度差が生じていることより, コンクリートが火源側を中心に図 6 b) に示すように長手直角方向に熱変形したと考えられる。

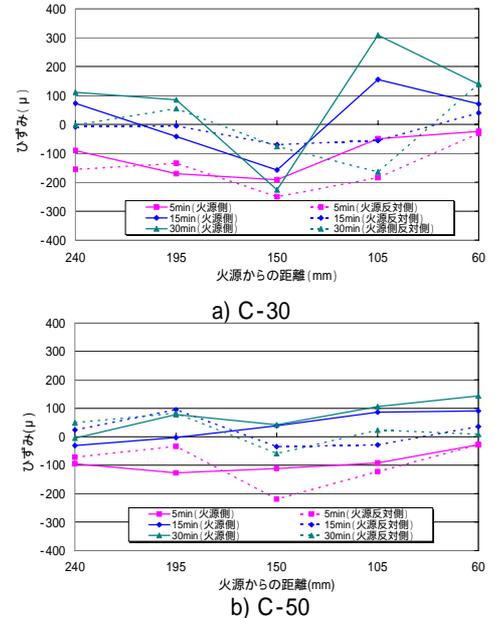


図 5 ひずみ - 距離関係

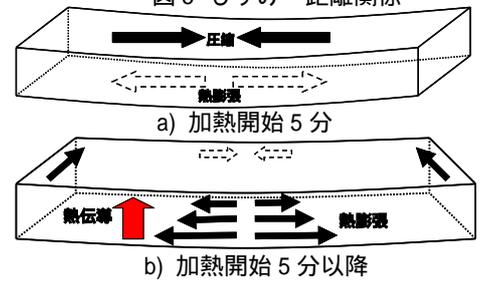


図 6 時間経過の熱変形

3.3 ひび割れ性状及び強度低下

一例として, C-30, C-50 の各供試体 1 体のひび割れ性状と曲げ強度試験結果を図 7 に合わせて示す。C-30, C-50 共に, 火源から受熱温度が高い 150mm ~ 350mm 地点の火源側にひび割れが集中し, 火源から 150mm 地点にひび割れ幅が大きいものが, コンクリート供試体の幅 0 ~ 200mm にかけて生じている。これは, 大きく熱変形が生じていた地点と一致することより(3.2 参照), 加熱面に長手方向の熱膨張による引張力で生じたひび割れであると推測する。

また C-30 のひび割れが C-50 より多く, ひび割れ幅が大きくなっていることが確認できる。これは, C-30 の方が加熱面の受熱温度が高く, 熱変形が大きくなったため, ひび割れ数・ひび割れ幅共に増加したと考えられる。そして, ひび割れ箇所において強度低下していることが確認できる。これより, ひび割れは強度低下の一要因あると考えられる。

4. まとめ

本研究から得られた知見を以下に示す。

- ・ 加熱開始から約 5 分でコンクリート上面は圧縮ひずみとなっている。このことから, 加熱面に熱膨張による引張力が生じたと考えられ, コンクリート供試体が長手方向に熱変形したと推測した。
- ・ 受熱温度が高い部分は熱膨張が大きいため, ひび割れが多く生じ, ひび割れ幅が大きくなることが確認できた。
- ・ 熱膨張による引張力で生じたひび割れが, 強度低下に繋がることを確認できた。

[参考文献]

1) 土木学会:コンクリート構造物の耐火技術小委員会報告ならびにシンポジウム論文集, p37,p38 平成16年

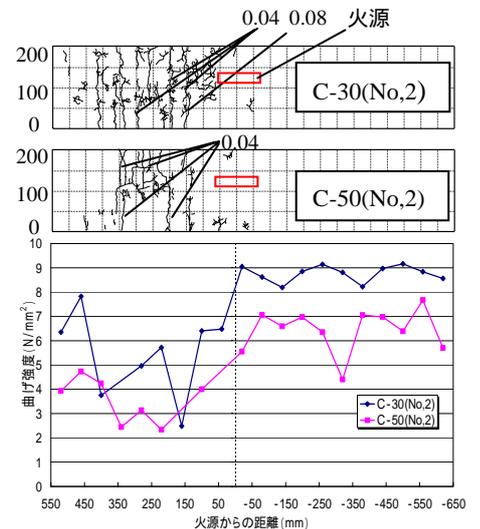


図 7 ひび割れ性状及び曲げ強度