パッシブサーモグラフィ法によるコンクリートの含水率と温度変化の関係

日本大学(院)学生会員 〇川久保政亮, 日本大学 正会員 栁内睦人 中央工学校 正会員 金光寿一, 中央工学校 非会員 白井成也

1. はじめに

日射量及び外気温の変動を利用したパッシブサー モグラフィ法は、加熱機器を利用するアクティブ法 に比べて検査の効率性も高く, 広範囲に均一な熱量 が供給されることから大規模なコンクリート構造物 の診断に適している。ところが、供給される太陽エ ネルギーは季節や天候によって変化し、特に降雨後 にはコンクリートへの吸水が温度上昇変化に影響を 及ぼすことになる。 筆者らは, 既に降雨後の気象条 件が及ぼす健全コンクリートの温度上昇変化や欠陥 部の温度上昇変化について積算日射量の相違から明 らかにしている¹⁾。モニタリング及び実験結果では、 健全コンクリートの温度上昇は大雨後の翌日が晴天 の場合には、晴天が連続する気象条件よりも積算日 射量に対する温度上昇量が大きくなることが確認さ れた。また、内部に空洞を有する欠陥部の温度上昇 は、コンクリート表面の含水率が高くなるほど健全 部との温度差が大きくなり、降雨によるコンクリー トへの吸水が欠陥検出に有効であることが示唆され た。しかし、構造形態によっては降雨によるコンク リート表面への滞水が想定される。

そこで、本研究では降雨後にコンクリート表面の 滞水が健全コンクリート及び欠陥を有するコンクリ ートの温度上昇にどのような影響を及ぼすのかを実 験的及び熱伝導解析により検討した。

2. 実験概要

降雨後のコンクリート法面診断を想定した試験体 への注水は,降雨温度と滞水量を考慮して水温及び 注水量を変えて赤外線カメラにより健全コンクリー ト及び欠陥を有するコンクリートの温度上昇変化の 相違を比較した。

赤外線カメラによる温度測定は,平成22年7月28日,8月5日及び9月3日の7:00~17:00までの10

表-1 試験体一覧及び実験条件

試験体 記号		欠陥部の状態(空洞)		注水冬州
		大きさ(mm)	深さ(mm)	江小末日
	N1	なし		なし
N	N2			100cc
	N3			200cc, 300cc
S	S1	100 × 100 × 5	10	なし
	S2		20	100cc
	S3		30	200cc, 300cc



図-1 試験体(S2 試験体)

時間である。測定日には、日射量,外気温,湿度及び風 速・風向の計測を行っている。なお、試験体の測定 面は計測された水平面全天日射量との関係が容易と なるように欠陥面を上向きにしている。

2.1 試験体及び実験条件

実験に供した試験体一覧及び実験条件を表-1に, また作製した試験体を図-1に示す。

コンクリートの配合は,普通ポルトランドセメン トを使用し,呼び強度 40N/mm²,スランプ 8cm, W/C

キーワード パッシブサーモグラフィー法, コンクリート診断, 降雨, 水分浸透, 表面温度

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科 栁内研究室 TEL&FAX.047-474-2441

=45%, s/a=47.6%及び空気量は 4.5%である。N 及 びS 試験体は,幅 200×200×高さ 100mm で,打設後 28日間水中養生し,その後実験室内にて空中養生さ せた。N 試験体は欠陥を設けていない試験体で,欠陥 を有するS 試験体には,幅 100×100×厚さ 5mm の発 泡スチロールを深さ 10mm, 20mm 及び 30mm の位置に 埋め込んで,硬化後にアセトンで溶かして空洞にし た。コンクリート表面の滞水は,アクリル板(幅 150 ×150×高さ 10mm)を貼付け,霧吹きを利用して, 100cc,200cc 及び 300cc を測定開始前に注水した。 コンクリート表面に供給した水の水温及び水量を 種々変化させた実験日は次のとおりである。

- a)7月28日は水温を測定開始時のコンクリート温度と同じ水温にして注水し、水量はN2,S2試験体に100cc及びN3,S3試験体へは300ccとした。
- b)8月5日は測定開始時のコンクリート温度よりも 5℃高い水温にして注水し、水量はN2,S2試験体 に100cc,N3,S3試験体へは200ccとした。
- c)9月3日は測定開始時のコンクリート温度よりも 5℃低い水温で注水し、水量は N2, S2 試験体に 100cc, N3, S3 試験体へは 200cc とした。

2.2 赤外線カメラによる温度測定

赤外線カメラによる温度測定は,測定距離の一定 を図るために赤外線カメラを支持するキャスター付 の台を作成して行った。なお,試験体は測定開始 (7:00)の15分前に実験室から搬入し注水後測定を開 始した。

2.3 含水率の測定

含水率の測定はコンクリートモルタル接触型水分 計〔(HI-520):高周波容量式,測定範囲 0~12%,厚み 補正 10~40mm〕にて行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 日射量

図-2 には自動計測で得られた 7:00~17:00 までの 全天日射量を示す。最大日射量は,7 月 28 日が 922W/m²,8 月 5 日が 854W/m²,9 月 3 日が 796W/m²であ る。測定時間である 7:00~14:00 まで積算日射量は 7 月 28 日が 4,325W/m²・h,8 月 5 日が 4,761W/m²・h,9 月 3 日が 4,246W/m²・h であった。図中には日射変動 を検討するために Bouguer 式で算出した 7 月 28 日の 全天日射量(快晴時)を示しておく。 その結果, Bouguer 式(快晴日)の7:00~14:00ま での積算日射量は7月28日が5,232W/m²・h,8月5 日が4,835W/m²・h,9月3日が4,415W/m²・hで実験日 の日射量は,それぞれ83%、98%、96%になった。



図-2 測定時の日射量

3.2 含水率の時系列変化

図-3は8月5日に各試験体中央部を水分計で測定 した深さ30mmまでの平均含水率である。

その結果, N1 及び S1 試験体は同様の含水率を示し ており, 7:00 では 4.0%が図-2 の気象条件によ り, 17:00 は約 3.8%と僅かに減少している。N2 及び S2 試験体は測定開始時のコンクリート温度である 27℃に水温を管理して 100cc をアクリル内に注水し たもので, その滞水により水分計で測定可能となっ た時刻は, N2 が 12:00 で欠陥を有する S2 は 11:00 で あった。N2 の含水率は 6.0%, S2 が 8.6%で 17:00 に は, それぞれ 5.3%, 6.1%に減少している。

また,200cc を注水した N3 試験体は測定できた時 刻は 14:00 で 5.2%が 17:00 には 5.0%, S3 試験体は 14:00 に 9.7%が 17:00 には 7.5%に減少している。 なお,7月 28 日及び 9月 3 日の含水率の時系列変化で は水温の影響はみられず,いずれもN 試験体とS 試験 体を比較すると,若干欠陥部(空洞)を有するS 試験体 の方が含水率が高くなっている。



図-3 含水率の時系列変化(8月5日)

3.3 熱画像と温度上昇変化

写真-1 及び写真-2 に 7 月 28 日に得られた熱画像 を示す。写真(a)~(c)は 7:00 に,(d)~(f)は 14:00 に得られた熱画像である。コンクリート表面に水分 が無くなり,水分計にて含水率の測定が可能となっ た時刻は,N2 試験体は 12:40,N3 試験体は測定終了時 の 17:00 のみ,S2 試験体は 11:40,S3 は 12:40 であっ た。写真-1(f)は 14:00 の熱画像であるが,アクリル 内には未だコンクリート表面に水が滞水して,アクリ ル枠外より温度が低くいる。また,写真-2 に示す S1 試験体(欠陥深さ 10mm)では,測定開始の 7:00 及び 14:00 ともに欠陥を判読することができる。



写真-2 S 試験体熱画像(7 月 28 日)

(1) N 試験体の温度上昇変化

図-4 は各実験日に得られた N 試験体の温度上昇変 化である。なお、図-4(c) に示す N3 試験体はアクリル 内に注水後漏水し 8:00 には表層部が乾燥した。水温 及び注水量を変えた各試験日の温度上昇変化は、N1 試験体と比較すると 100cc 注水した N2 試験体の方が 温度上昇量が大きくなっている。両者の最大温度差 は、7 月 28 日は 15:20 に 2.95℃、8 月 5 日は 14:00 に 1.82℃、9 月 3 日は 15:40 に 4.54℃である。アクリル 内に滞水していた水が蒸発し、コンクリート表面が 乾燥すると急激に温度上昇が始まり,乾燥状態の N1 試験体よりも温度上昇が大きくなる。8月5日の温度 上昇量は、9月3日に比べると小さい。積算日射量は、 前述したとおり8月5日の方が大きいが8月5日は 風が強く、特に11時以降の両日の平均風速差は2m/s 程度生じている。一方、8月5日の N3 試験体(注水 200cc)の温度上昇は、14:00頃には表層部が乾燥し温 度上昇を示しているが、この時刻の日射量は減少傾 向にあり、N2 試験体と比較すると温度上昇率は小さ い。また、水温と温度上昇変化との関係では、8月5 日は測定開始時のコンクリート温度よりも5℃高い 水温にして注水した影響から、7:00以降は若干低く なっているものの、7月28日の±0℃、9月3日の-5℃ の時系列変化は、ほぼ同様であった。



(a) 7月28日(水温±0°C)



(b) 8月5日(水温+5℃)



(2) S 試験体の温度上昇変化

図-5 は各実験日における S 試験体の欠陥部温度から健全部温度を減算した温度差を示したものである。S1 試験体の温度差は、N1 試験体の温度上昇量に比例して大きくなっており、7 月 28 日が 1.29℃(10:20),8月5日が1.57℃(10:20),9月3日が2.01℃(11:00)である。また、S2 試験体は7月28日が0.27℃(14:00),8月5日が0.59℃(12:00),9月3日が0.63℃(12:40)で,表層部が乾燥して1~2時間後に現れている。一方、S3 試験体は200cc及び300ccを注水したもので、7月28日が0.27℃(14:20),8月5日が0.22℃(15:40),9月3日が0.50℃(13:40)である。なお、表層部の乾燥は12:40以降で、欠陥深さも30mmであり、健全部との温度差を確認できなかった。



(a) 7月28日(水温±0°C)



(b) 8月5日(水温+5℃)



(c) 9月3日(水温-5℃)
図-5 S 試験体の温度上昇変化

図-6 は写真-2(d),(e),(f)の中央ラインのプロフ ァイル温度である。このように S2 及び S3 試験体は, 欠陥部と健全部との温度差も小さい。特に大きな温 度差を得るためには,太陽エネルギーによって欠陥 部の前面に蓄積される熱量が期待できる時間帯に表 層部が乾燥する必要がある。



4. まとめ

本研究で得られた所見を以下に示す。

- (1)滞水しているコンクリートの温度上昇は,表面に 滞水していた水が蒸発し,ある程度コンクリー ト表面が乾燥すると急激に温度上昇が始まり, 乾燥したコンクリートよりも4℃以上大きくなった。
- (2) 滞水させなかった S1 試験体の健全部と欠陥部の 温度差は, N1 試験体の温度上昇量に比例して大 きくなっており,7月28日が1.29℃(10:20),8 月5日が1.57℃(10:20),9月3日が2.01℃ (11:00)である。また,滞水させたS2試験体の健 全部と欠陥部の温度差は,7月28日が0.27℃ (14:00),8月5日が0.59℃(12:00),9月3日が 0.63℃(12:40)で,いずれも表層部が乾燥して1 ~2時間後に現れている。
- (3)表層部に滞水しているコンクリートの欠陥検出 では、太陽エネルギーによって欠陥部の前面に 蓄積される熱量が期待できる時刻より前に表層 部が乾燥する必要がある。

【参考文献】

 金光寿一,柳内睦人,川久保政亮:パッシブサーモグラフィ ー法によるコンクリート欠陥部への水分浸透の影響, コンクリート年次論文集,Vol.32,No.1,pp.1757-1762, 2010.7