パッシブサーモグラフィ法による欠陥部の水分浸透が及ぼす健全性評価への影響

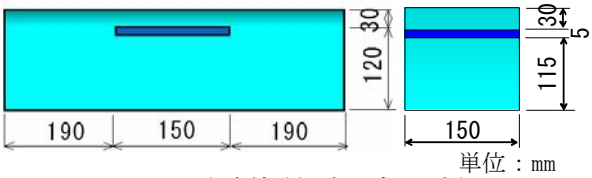
日本大学　学生会員　○　川久保　政亮
日本大学　正会員　柳内　睦人
中央工学校　正会員　金光　寿一

1．はじめに

サーモグラフィ法からコンクリートの内部診断を行う場合には，太陽光を利用したパッシブ法が効率的である．しかし，気象条件は晴れ，曇り，雨の繰り返しで診断を誤らないためには特に降雨後の影響について明らかにしておく必要がある．そこで，本研究では降雨によりコンクリート中の欠陥部に浸透した水分が表面温度にどのように影響を及ぼすのかを明らかにするために，水中浸漬試験体から健全部および欠陥部の温度上昇変化の相違について実験的に検討した．また，二次元非定常熱伝導解析ではコンクリートの熱特性を変化させて雨水が浸透した欠陥部の温度変化について検討した．

2．実験概要

実験に供したコンクリートは，呼び強度 40N/mm^2，W/C=45%，Slump＝10.0cm，Air＝4.5%である．試験体は，幅 150×高さ 150×長さ 530mm の中央に幅 150×150×厚さ 5mm の空洞を深さ 30mm の位置に設けたものである(**図-1** 参照)．降雨を模擬した試験体への吸水は，赤外線カメラによる測定開始の 12 時間前に水中浸漬により行った．



単位：mm

図-1 試験体(欠陥内部は水)

2.1 含水率の測定と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，平成 21 年 10 月 9 日の時刻 7:00 から 17:00 まで 20 分間隔で熱画像の撮り込みを行った．**図-2** に自動計測された日射量と外気温を示す．図中には Bouguer 式で求めた快晴時の日射量を示す．なお，8:20 までの実測日射量が少ないのは屋上の実験場所が隣の校舎で日陰になっているために天空日射量となっている．さらに，10:10 以降曇りとなり，時刻 10:20 から 14:00 までの積算日射量は Bouguer 式で計算された積算日射量(快晴)と比較すると，その割合は 59%である．測定時間内の平均風速は 1.0 m/s で，含水率の測定は K 社製のコンクリート接触型水分計〔(HI-520)：高周波容量式〕にて行った．欠陥上部表面から測定した深さ 30mm までの含水率は，時刻 7:00 で 4.6%，17:00 までの減少は約 1%であった．**写真-1** に熱画像を示す．また，**図-3** には熱画像の左端から 50～80mm の範囲の健全部が示した平均温度を，最大値及び平均値は水で満たされた空洞範囲内（150mm)で得ら

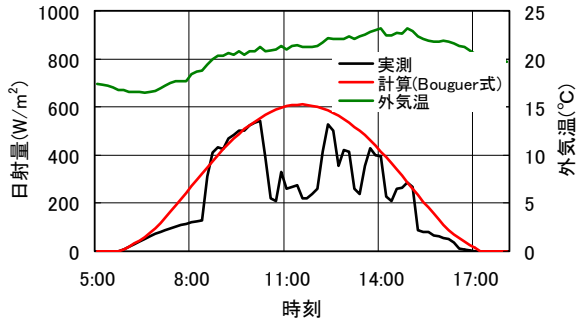


図-2 全天日射量と外気温

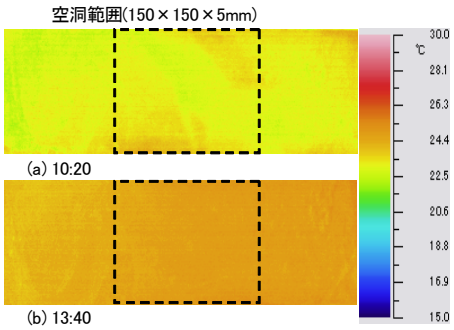


写真-1 熱画像

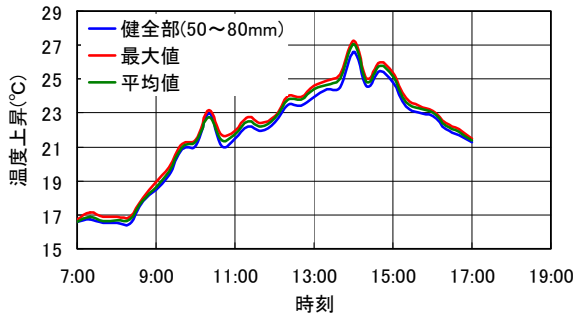


図-3 温度上昇の相違

キーワード：パッシブサーモグラフィ法，コンクリート診断，降雨，水分浸透，熱伝導解析
連絡先：〒275-8575 習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部　TEL047-474-2441 E-mail：yanai.mutsuhito@nihon-u.ac.jp

れたものである．その結果，日射量からも分かるように，10:10 から曇りになり各位置の温度は急激に低下している．欠陥範囲の温度は健全部と比較すると最大値(1pixel)では 0.6℃の高温域で推移しているが，欠陥領域内の平均値では-0.2℃ほど低温域となっており，このような温度差での欠陥評価は難しいと思われる．なお，最大値では 13:40 に 0.76℃ほどの温度差が得られているが，空洞内の水が水分移動して僅かな空気層が生じたためと思われる．

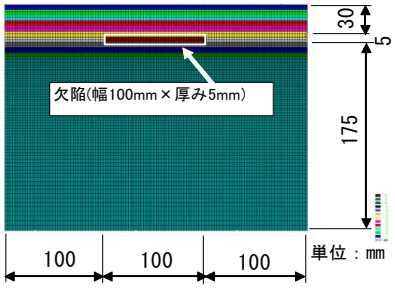


図-4 解析モデル

2.2 熱伝導解析による欠陥部の温度変化

二次元非定常熱伝導解析は，汎用 FEM プログラム COSMOS/M を使用した．コンクリート中の水分状態及び内部欠陥(空洞)に水が満たされている場合の表面温度の変化について明らかにし，検出可能な時間帯や検出手法について検討した．**図-4** に解析モデルを**表-1** には熱特性を示す．ケース 1 は快晴が連続した場合，ケース 2 は内部空洞が水で満たされている場合，ケース 3 は降雨後を想定して設定したものである．なお，熱伝達係数は 14W/m^2・K の一定値である．**図-5** は自動計測された全天日射量及び外気温である(10 月 1～3 日)．なお，入力した日射量は実測されたコンクリート温度とのすり合わせから 58%としている．**図-6** には得られた健全部の温度上昇を示す．10 月 1 日～3 日は晴れであり，健全部の温度をケース 1 と実測値で比較すると 3 日間の両者の平均差は 0.34℃で良く一致している．一方，ケース 1 とケース 3 では降雨後を想定したケース 3 の方が温度上昇量は小さくなる．そのケース 1 とケース 3 の最大温度上昇差は 1 日の 13:20 では 1.45℃，2 日の 13:00 に 1.6℃，3 日の 13:00 には 2.2℃であった．一方，**図-7** は各ケースで得られた欠陥部の温度から健全部の温度を減算した欠陥部の温度差である．ケース 1 において欠陥部が空気層の場合の欠陥部温度差は，欠陥の厚さ 5mm，深さ 30mm では 3.0℃程度得られているが，ケース 2 では 0.1℃以下及びケース 3 では 0.17℃以下と僅かな温度差しか得られていない．健全部ではコンクリートが乾燥している方が温度上昇量は大きくなるものの，欠陥部の温度差は逆にコンクリートが濡れている方が大きくなる．このように内部空洞が水で満たされている場合には熱画像からの判断は困難になると思われるが，パッシブサーモグラフィ法で少しでも診断精度の向上を図るためには降雨後でコンクリート表面が湿潤な状態での観測が望まれる．

表-1 解析に用いた熱特性

ケース1	密度 (kg/m^3)	比熱 〔kJ/(kg･K)〕	熱伝導率 〔W/(m･K)〕
コンクリート	2,200	0.876	1.4
欠陥(空気)	1.161	1.009	0.0256

ケース2	密度 (kg/m^3)	比熱 〔kJ/(kg･K)〕	熱伝導率 〔W/(m･K)〕
コンクリート	2,200	0.876	1.4
欠陥(水)	999.1	4.182	0.59

ケース3	密度 (kg/m^3)	比熱 〔kJ/(kg･K)〕	熱伝導率 〔W/(m･K)〕
コンクリート	2,300	1.267	2.3
欠陥(水)	999.1	4.182	0.59

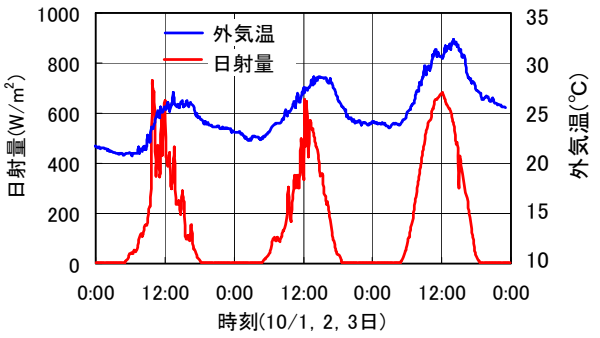


図-5 入力した日射量と外気温

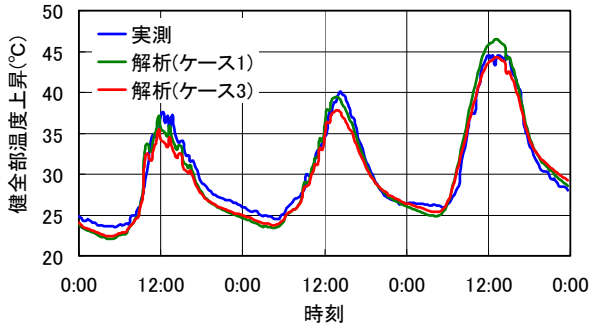


図-6 温度上昇変化の比較

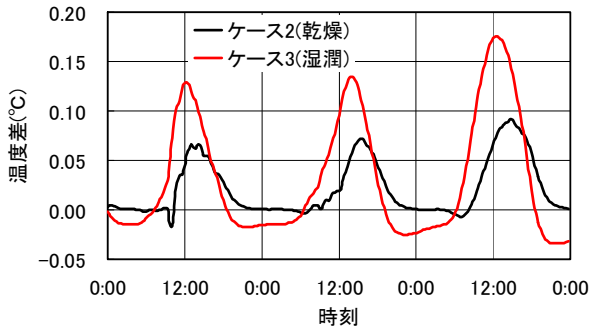


図-7 欠陥部の温度差

3．まとめ

パッシブサーモグラフィ法による内部診断は，欠陥部(剥離空洞)の前面に蓄積される熱量を期待するもので，内部への水の浸透量や水温によっては評価できない可能性がある．