

PC板を用いた床版が受ける温度変化および乾燥収縮に関する一実験

三井住友建設(株) 正会員 ○浅井 洋
 三井住友建設(株) 正会員 工修 三加 崇
 三井住友建設(株) 正会員 工修 竹之井 勇
 三井住友建設(株) 正会員 工博 三上 浩

Recently, in construction of PC bridges, PC composite slab which uses PC-precast-panel (PC panel) is adopted, and shortening of a construction cycle, standardization of work, and improvement in safety by reduction of height work are achieved. Cast-in-place concrete is restrained by the main girder or the cross beam, the undersurface is restrained with PC panel. On the condition from which PC composite slab receives drying shrinkage and a temperature change by strong sunlight, cracks may occur to the slab. This paper describes the temperature change which the PC composite slab specimen receives by solar radiation. Moreover, it describes the difference in the drying shrinkage of the slab specimen on the outdoors, and other slab specimen placed indoors.

Key words : PC-precast-panel, Concrete temperature, Drying shrinkage

1. はじめに

近年、PC橋の施工では、施工サイクルの短縮や作業の標準化、高所作業減少による安全性向上、コスト削減などを目的としてプレキャストPC板（以下、PC板）を使用した合理化施工が行われている。PC板は場所打ちコンクリートの施工に先立ち工場製作されるため、乾燥収縮およびクリープの多くは進行している場合が多い。PC板は主桁や横桁間に敷設し、場所打ちコンクリートと一体化される。このため、場所打ちコンクリートは、主桁や横桁に拘束されるとともに、下面もPC板によって拘束されており、寸法変化が生じるとひび割れが発生しやすい条件にある。このため、強い日射にさらされると、乾燥と一日の温度変化¹⁾によって場所打ちコンクリートに引張応力が生じ、ひび割れを誘発する恐れがあると考えられた。

本研究では、道路橋示方書²⁾によるPC合成床版とその他の部材間の相対的な温度差を適用する妥当性について実験的に検証するため、PC合成床版試験体を屋内と屋外にそれぞれ設置し、日射によって受ける温度変化の違いを比較した。

2. 試験方法

試験体の概要を図-1および図-2に示す。試験体は、厚さ80mmのPC板に200mmの場所打ちコンクリートを一体化した床版(2100mm×900mm)をモデル化した。通常、PC板はPC鋼より線を用いたプレテンション方式でプレストレスを導入している。本試験ではプレストレスの管理とひずみゲージの測定を容易にするため、φ13mmアンボンドPC鋼棒を使用したポストテンション方式でプレストレスを導入した。図-2に示すように、PC板と場所打ちコンクリートとの接合面は台形キー（天端幅20mm、裾幅30mm、高さ5mm）を設けて一体化している。PC板コンクリートの設計基準強度は50N/mm²で（単位水量159kg/m³、水セメント比35%、材齢7日53.6N/mm²）あり、場所打ちコンクリートは36N/mm²（単位水量165kg/m³、水セメント比43%、材齢7日38.8N/mm²）である。同一試験体を2体製作し、屋内と日射が当たる屋外に設置した。PC板は、コンクリート打設4日後にプレストレスを導入し、直ちにPC板の両端2

点で支持して設置し、場所打ちコンクリート施工まで約2ヶ月間放置した。支点部は、PC板の長さ変化を拘束しないようにテフロンシートを敷いている。支点部のPC板のかかり長は90mmであり、床版下面と地表の間に約350mmの空間を設けた。日射による地表温度の上昇が試験体に影響するのを防ぐため、地表面には遮光シートを敷設した。外部との熱の供給面で床版の連続性を想定し、場所打ち部コンクリート施工時には、側面を厚さ200mmの発泡スチロールで覆い、側面からの熱の出入りを抑制した。コンクリート打ち込み後、表面仕上げを行い、表面を湿潤養生マットとシートで覆って養生し、材齢3日に表面の養生を撤去した。屋外に設置した試験体は、日射や雨を遮る構造物はない。屋内に設置した試験体は、屋外の試験体と約15m離れた施設(幅約20m、長さ約40m、高さ約10m)の中に設置した。日中は施設の一面を開放して外気を取り入れたが、日射や雨の影響は受けない。PC合成床版試験体の製作と同時に、場所打ちコンクリートがPC板や鉄筋で拘束されない無筋試験体(以下、BL試験体、500mm×500mm×厚さ280mm)も製作し、屋内および屋外それぞれに設置した。床版試験体と同様に、側面を厚さ200mmの発泡スチロールで囲み、底版型枠には鋼製型枠を使用し、材齢3日で養生を撤去する際に一緒に撤去した。PC合成床版試験体およびBL試験体の測定位置および測定項目を表-1に示す。また、屋内には角柱試験体(100×100×400mm)も設置し、長さ変化を測定した。

3. 試験結果

3.1 PC板の形状に及ぼす影響

PC板はPC鋼材緊張後、両端部2点支持で屋内と屋外にそれぞれ設置した。部材厚の大きなコンクリートでは、表面から100mm程度の深さまで日射の影響を受けて温度勾配が大きくなることがわかっている¹⁾。同様な温度勾配がPC板に生じると、上面と下面の温度差によりPC板中央が反り上がる変形が生じると考

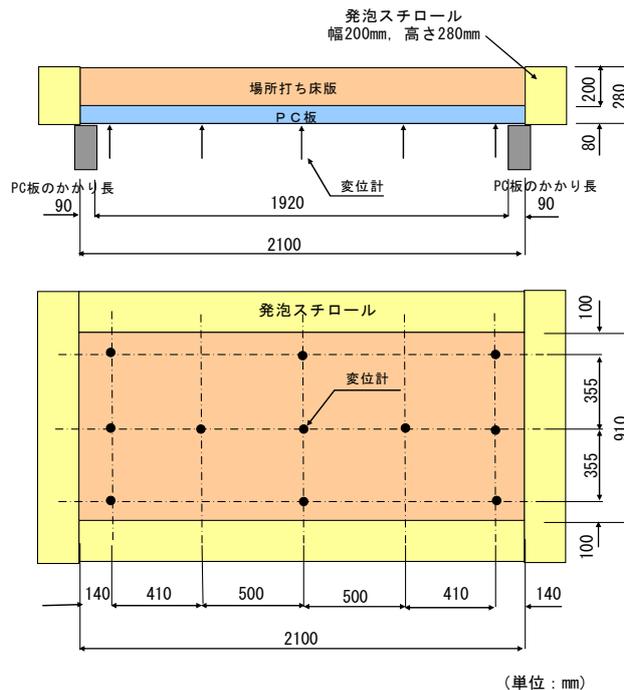


図-1 PC合成床版試験体概要図

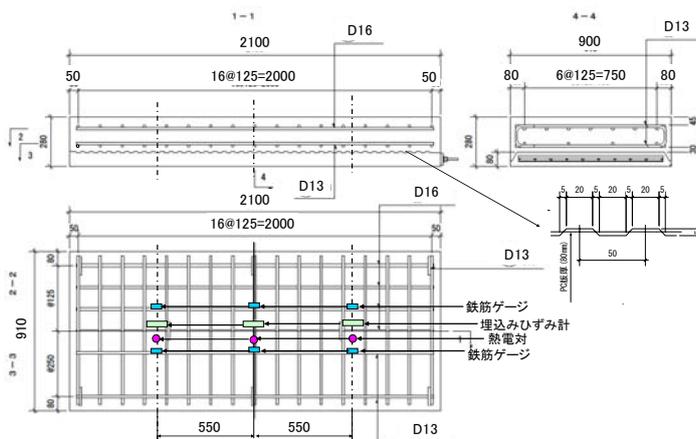


図-2 PC合成床版試験体配筋および測定位置図

表-1 測定項目

床版高さ (mm)	PC合成床版試験体				BL試験体	
	温度	ひずみ		温度	ひずみ	
		コンクリート	鉄筋		コンクリート	
		ひずみ	ひずみ		ひずみ	
280	○			○		
260	○			○		
240	○			○	○	
220	○			○		
214			○			
210	○		○			
200	○			○		
180	○			○		
140	○	○		○		
130			○			
120	○			○	○	
100	○			○		
80	○			○		
80	○			○		
65	○		○			
60	○			○		
40	○	○		○		
20	○			○		
15	○		○			
0	○			○		

えられる。そこで、場所打ちコンクリートを打ち込むまでの約2ヶ月間、PC板の挙動を測定した。PC板の上下面の温度変化を図-3に示す。時間軸はプレストレス導入日を初期値としている。7日の値に着目すると、屋外のPC板の上面温度は、外気温に比べて15℃以上高く、55℃に達している。屋内のPC板の温度は、外気温と同じ程度であることや日照量が少なかった9日には差が少ないことから日射による温度上昇が原因と考えられる。PC板の表と裏の温度差は5℃であり、PC板の表面が日射で暖められる速度は3.7℃/hrである。このときの部材内の温度勾配は0.063℃/mmである。屋外のPC板の一日の温度変化は約30℃である。一方、屋内試験体の一日の温度変化は外気温より小さく、施設建家の保温効果が影響していると考えられる。PC板の上下縁に配置した鉄筋のひずみ変化を図-4に示す。プレストレス導入時の上縁および下縁鉄筋ひずみをコンクリート応力度に換算すると、屋外PC板の上縁および下縁鉄筋位置の応力度は、それぞれ10.5N/mm²および8.4N/mm²であった。屋内PC板の値はそれぞれ、10.9N/mm²および8.2N/mm²である。両試験体のプレストレスはほぼ同様に導入されており、上下縁鉄筋位置の応力度も同程度であった。プレストレス導入後のひずみは、時間の経過とともに収縮する傾向が認められた。屋外と屋内のPC板の温度の日変化を比較すると、屋外のPC板の値が大きいことがわかる。緊張後最初の数日は両試験体ともほぼ同じ収縮ひずみを示しているが、降雨にともなって両者のひずみに差が生じている。屋外の試験体の収縮ひずみの進行は、雨の影響を受け緩やかになる。上縁鉄筋と下縁鉄筋のひずみに着目すると、屋内のPC板は、上縁鉄筋の収縮ひずみが下縁鉄筋の値に比べて大きい。これは、プレストレスによって与えられた上縁の応力度が下縁より大きく、クリープひずみが増加したためと考えられる。屋外のPC板は、降雨後の上縁鉄筋の収縮ひずみの増加が小さくなり、この関係が逆転している。PC板の支間中央のたわみを図-5に示す。PC板のひずみでも認められた様に、日中の上縁ひずみが大きいため、PC板は下にたわむ傾向を示している。一方、屋外のPC板は降雨があるまでは屋内と同様であるが、降雨後は反りあがる変形を示した。屋外のPC板下面は、降雨の影響を受けないため乾燥収縮が進行し、2ヶ月間で約1mm反り上がる変形を示した。屋外のPC板は日射の影響で0.3mmの日変化を示している。このように、PC板はクリープ、乾燥収縮および日射等の影響を受けて変形し、降雨は乾燥収縮ひずみの一部を回復する効果がある。

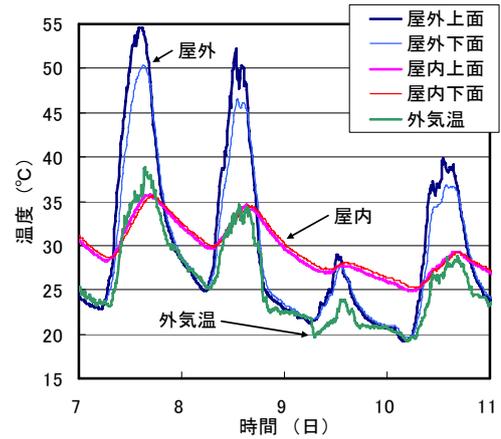


図-3 PC板温度変化

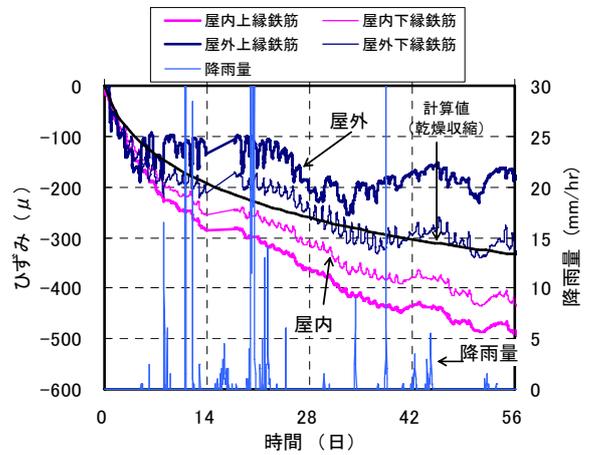


図-4 PC板ひずみ変化

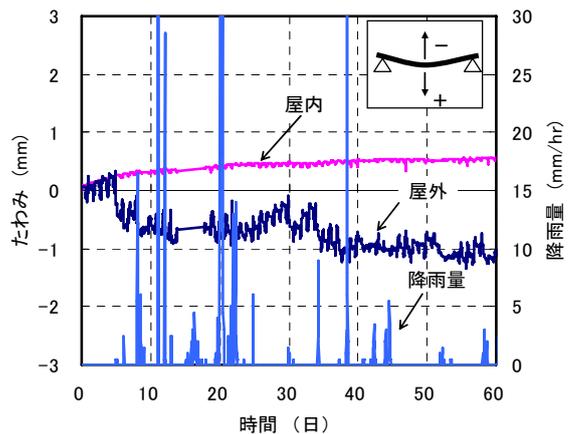


図-5 PC板たわみ

3.2 床版の温度変化

図-6に10月に施工した場所打ちコンクリート材齢10日の床版断面の温度分布を示す。屋外試験体は、日射を受けて上縁付近の温度変化が大きく、下縁の温度は外気温の日変化より小さい傾向を示している。上縁の温度勾配が大きくなる範囲は、上面から100mm程度までであり、それより下側ではほとんど温度勾配が認められず、日変化を示している。このことより、PC板と場所打ちコンクリートとの界面には、日射による著しい温度勾配および温度履歴が生じないことが確認できた。上面と試験体内部との温度差は13:00頃の約9℃をピークに、その後は差が縮まる。この温度差は、冬季には約6℃生じており、夏季には12℃程度の差が生じていた。19:00頃には表面温度が内部温度より約3℃程度低くなり、温度分布が逆転する。この値は年間を通して同程度であった。屋内試験体の温度は、屋外試験体に比べて日変化が少なく、温度勾配も小さい傾向を示している。表面温度は外気温の影響を受けているが変動は小さい。この結果より、床版温度の日変化は、日射の影響を大きく受け、温度勾配も大きくなることが明らかである。

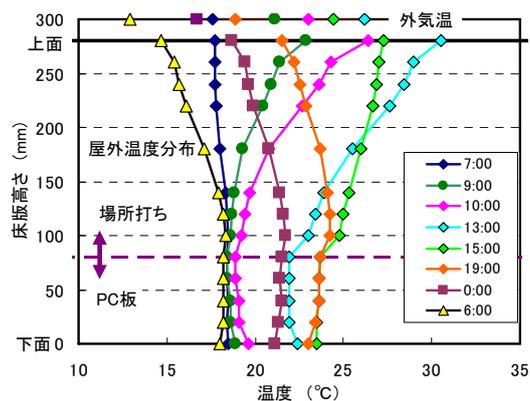
屋外試験体と屋内試験体の表面温度の履歴を図-7に示す。打ち込み終了から10時間後に水和熱により表面温度が39℃に達し、その後の表面温度は季節の変化にともなって徐々に低下する。測定期間の範囲で、試験体表面温度の最高値および最低値は屋外の試験体に生じており、それぞれ46℃および-5℃であり、温度変化は約50度であった。表面温度の日変動幅は、秋から冬にかけては屋外で約12℃、屋内で約3℃であり、春から夏にかけては屋外で18℃、屋内で3℃である。屋外試験体の温度は、屋内試験体の温度に対して冬は低い値で変動しており、夏には高い値で変動している。これは、冬は日射の影響が小さく、放射冷却による影響が大きいためと考えられ、夏は日射の影響が大きいためと考えられる。

次に、床版全体の温度に着目する。道路橋示方書では部材間の相対的な温度差を考える場合には、それぞれの部材内の温度が一様として考えられる。そこで、試験体の平均温度を式(1)で算出する。

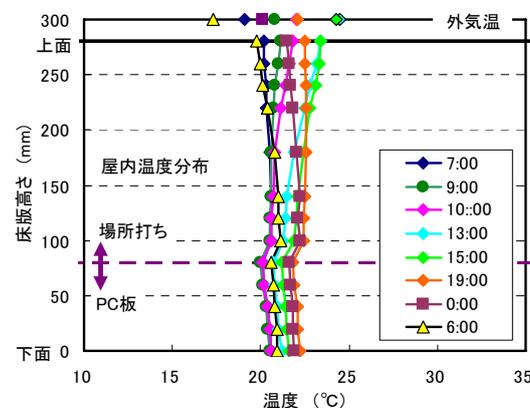
$$T = \frac{\sum \{t_i (h_{i+1} - h_{i-1}) / 2\}}{h} \quad (1)$$

ここに、 T : 平均温度, t_i : i 番目の測定温度, h_{i+1} , h_{i-1} : $i+1$ 番目および $i-1$ 番目の測定高さ, h : 床版高さ (=280mm)

図-8に試験体の平均温度の変化を示す。測定期間の範囲で、試験体表面温度の最高値および最低



(a) 屋外試験体



(b) 屋内試験体

図-6 部材断面温度分布

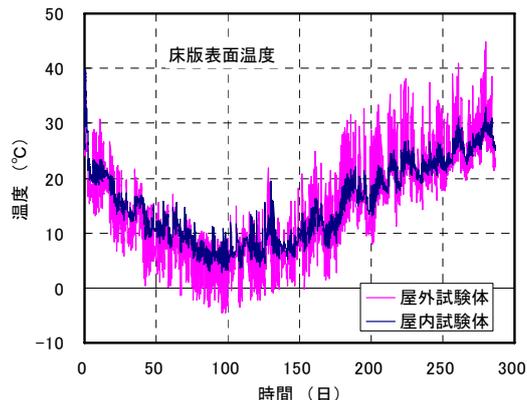


図-7 試験体表面温度の変化

値は屋外の試験体に生じており、それぞれ37℃および-1℃であり、温度変化は38℃であった。日変動幅は約10℃であった。屋外試験体と屋内試験体との温度差は約5℃であった。日射の影響を受けない屋内試験体の温度履歴が、床版と接しているウェブ部などの温度変化を反映していると仮定すると、道路橋示方書に示される温度差5℃が妥当であることが確認できた。

3.3 ひずみ

屋内に設置した試験体の場所打ちコンクリート打ち込み後のひずみ変化を図-9に示す。図-9(a)は角柱試験体(100×100×400mm)の収縮ひずみである。屋内試験体と同じ環境下に設置しており、3試験体の平均値である。測定はコンタクトゲージを用い、材齢1日に脱型して基長を測定した。計算値は、一日の平均温度および測定期間中の平均湿度を使用し、コンクリート標準示方書³⁾に従って算出した値である。今回使用したコンクリートは、計算値より若干大きい値を示す材料であることがわかる。図-9(b)は屋内BL試験体のひずみを示す。ひずみは試験体中央のコンクリート下面から120mmと240mm(上面から40mm)の2箇所の値である。2箇所のひずみはほぼ同じ値であり、計算値より小さい。角柱試験体の計算値とは体積表面積比の違いのみであるが、測定結果は計算値に対して両試験体で異なる結果となった。図-9(c)に屋内試験体のひずみを示す。PC板ひずみは、場所打ちコンクリート打ち込み後からのひずみ変化であり、場所打ちコンクリート重量によるひずみ変化を含んでいない。床版上縁付近(210mm)は、BL試験体と同程度の収縮を示しているのに対して、140mmのひずみは、上縁ひずみの約40%の値を示している。140mmのひずみは、PC板との距離が60mmと近く、拘束の影響を受けていると考えられる。図-10に屋内試験体の支間中央断面のひずみ分布を示す。PC板と場所打ち部下縁付近のひずみは、平面保持を示しているが、上縁付近は収縮ひずみが大きい。この値は、屋内BL試験体とほぼ同じ値を示している。すなわち、場所打ちコンクリート下面はPC板に拘束され、上縁付近はPC板の拘束の影響が小さいことが明らかである。

図-11に屋外試験体のひずみを示す。ひずみの日変動幅は屋内試験より大きい。試験体上縁付近

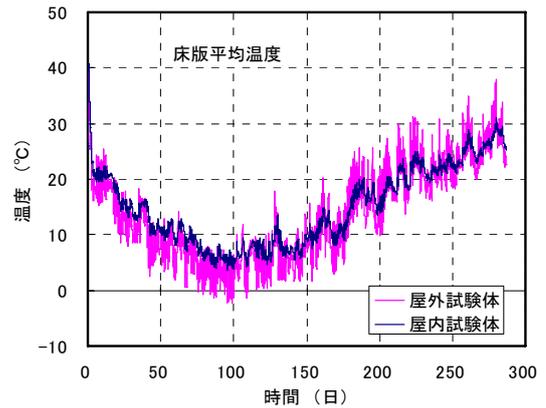
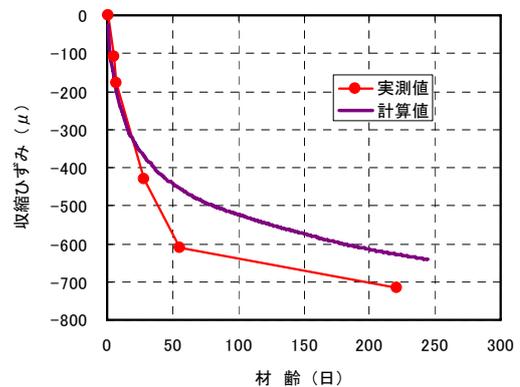
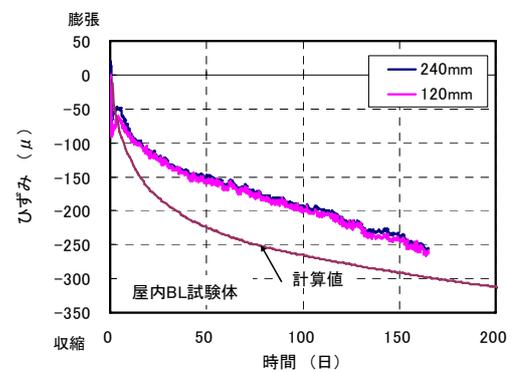


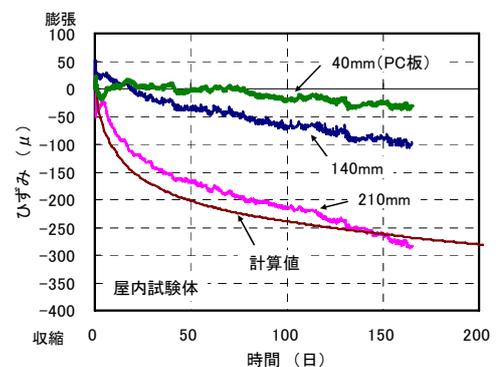
図-8 試験体平均温度の変化



(a) 角柱試験体



(b) 屋内BL試験体ひずみ変化



(c) 屋内試験体

図-9 屋内設置試験体ひずみ変化

(210mm) のひずみは、屋内試験体の値より小さく、下縁付近 (140mm) やPC板のひずみと大きく変わらない。屋外BLのひずみは、屋内BLより収縮が小さく、屋外試験体の上縁付近 (210mm) と同じ挙動を示している。降雨との関係に着目すると、降雨が無いときは収縮ひずみが増加する傾向を示し、降雨によって収縮ひずみが回復する。この結果から、屋外環境のコンクリート部材に生じる乾燥収縮ひずみは屋内の収縮ひずみに比べて小さく、PC板などの拘束によって生じる引張応力は緩和されていると考えられる。

3.4 たわみ履歴

支間中央のたわみの変化を図-12に示す。場所打ちコンクリート重量によるたわみは含まれていない。試験体のたわみは、縁コンクリートの乾燥収縮の進行度合いが影響していると考えられ、屋外試験体に比べて屋内試験体のたわみが大きい。一方、屋外試験体の一日の変動量は、外気温や日射の影響を受けて屋内より大きく、0.2mm程度生じている。このように、定期的に降雨がある場合には、PC板と場所打ちコンクリートとの乾燥収縮の差が緩和され、たわみ変化も小さくなると考えられる。

4. まとめ

日射を受ける厳しい環境において、コンクリートの乾燥収縮と温度変化が複合され、著しい収縮ひずみの増加が懸念されたが、降雨により緩和されることが示された。本試験の限られた期間の測定範囲で次の知見が得られた。

- 1) PC板の表面温度は50℃以上になり、一日の温度変化は30℃程度生じるが、部材内の温度差は5℃程度で著しい反りなどは生じない。
- 2) 日射を受ける床版とその他のコンクリート部材との相対的な温度差は5℃に設定できる。
- 3) 場所打ちコンクリートの上縁の乾燥収縮はPC板による拘束の影響が小さく、定期的な降雨によって収縮は回復される。

参考文献

- 1) 浅井, 谷口, 三加, 三上: 日射が若材齢コンクリートに及ぼす影響について, 第8回構造物の補修・補強, アップグレードシンポジウム, 2008
- 2) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編
- 3) 土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書設計編, 2008

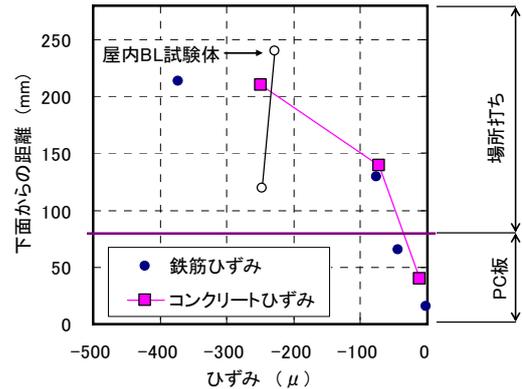


図-10 屋内試験体ひずみ分布

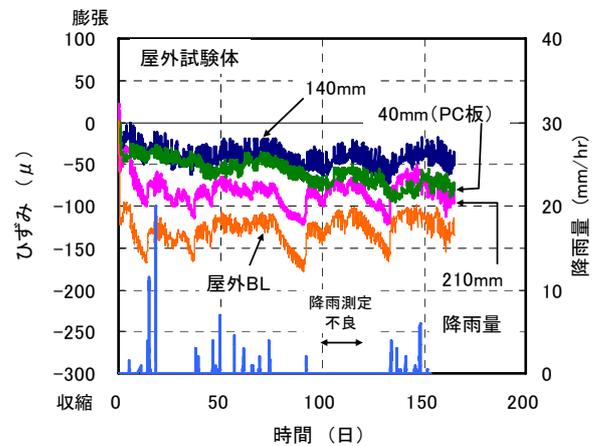


図-11 屋外試験体ひずみ変化

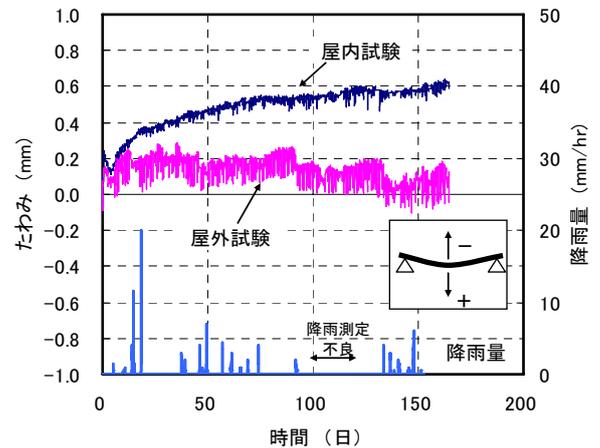


図-12 たわみの変化