

ケミカルプレストレストコンクリート部材の一軸引張強度試験方法に関する検討

井手一雄*¹ 樋口正典*² 辻幸和*³

要旨: 膨張コンクリートによる鉄筋コンクリート部材の力学的性状の改善効果を評価する手法の一つとして、ケミカルプレストレストコンクリート部材の一軸引張強度試験方法について検討した。その結果、拘束棒の両端に拘束端板を設けて、部材端部の付着性状を改善することにより、軸方向の品質を均一化するとともに小型化して、取扱いを簡便にした供試体による一軸引張強度試験を提案する。この一軸引張強度試験方法は、ケミカルプレストレストコンクリート部材の力学的性状を比較的簡便に十分な精度で評価できる可能性が高く、力学的性状に関する基礎的な評価試験方法になり得ることを示した。

キーワード: 膨張コンクリート, ケミカルプレストレス, 一軸引張強度, 試験方法

1. はじめに

ケミカルプレストレストコンクリート部材（以下、CPC 部材という）は、ひび割れ抵抗性の向上やひび割れ幅の低減など、鉄筋コンクリート部材（以下、RC 部材という）の力学的性状を改善する効果を持つことが、多くの文献により報告されている¹⁾。その一方で、これらの効果を定量的に評価する技術は十分でなく、膨張コンクリートが持つ潜在的な性能を十分に利用しているとはいえない。

このような現状を鑑み、CPC 部材の効果を定量的に評価する方法のひとつとして、一軸引張強度試験により引張応力下の挙動を解明する研究が行われている²⁾。しかし、一軸拘束した CPC 部材は部材端部で付着性状が劣るため、膨張ひずみとコンクリートの品質が部材軸方向で不均一になること³⁾や、一軸引張強度試験は引張力の伝達治具による 2 次応力や偏心力の発生などの影響により結果にばらつきが生じやすいことなどの問題があった。そこで、著者らは、拘束棒の両端に拘束端板を設けて、部材端部の付着性状を改善することにより、軸方向の品質を均一化するとともに

に小型化して、取扱いを簡便にした供試体を採用した。そして、球座のついたボルトにねじ込む方式で引張試験機に設置することにより、伝達治具による 2 次応力や偏心力を極力排除する試験方法を新たに考案し、CPC 部材の一軸引張強度特性の研究に活用している⁴⁾。

本報では、新たに考案した一軸引張強度試験方法が CPC 部材の力学的性状を比較的簡便に十分な精度で評価できる可能性が高いことを示し、力学的性状に関する基礎的な評価試験方法になり得ることを提案する。

2. 一軸拘束供試体

2.1 一軸拘束供試体の形状・寸法

一軸拘束供試体の形状・寸法を、図-1 に示す。鉄筋等の拘束棒で内的に拘束した CPC 部材は、部材端部で付着性状が劣るため、膨張ひずみとコンクリートの品質が部材軸方向で不均一になる³⁾。そのため、供試体の長さを十分に吟味し、膨張ひずみがほぼ均一化する区間を得ようとすれば、供試体は長大化し、製作や養生、載荷装置の大型化など、取扱いが不便となる。

* 1 三井住友建設株式会社 技術研究所 主任研究員（正会員）

* 2 三井住友建設株式会社 技術研究所 土木材料研究室室長 博士（工学）（正会員）

* 3 群馬大学 工学部 建設工学科 教授 工博（正会員）

そこで、拘束棒の両端に拘束端板を設けて膨張を拘束することにより、部材軸方向の品質を均一するとともに小型化し、取扱いを簡便にする方法を考案し、供試体の形状・寸法について検討した。その結果、膨張および収縮の拘束に関わる基本的な部分に関しては、膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験として JIS 化されており、膨張コンクリートの品質試験として多くの実績を有する JIS A 6202 「コンクリート用膨張材」の附属書 2 (参考)「膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法」に規定されている B 法に準ずることとした。

さらに、本供試体には、長さ方向中央部の両側面に深さ 10mm、幅 2mm の切欠きを設けた。仮想ひび割れモデルを用いた解析の結果⁵⁾から、切欠きによる応力の集中が一軸引張強度に及ぼす影響は非常に少ないといえるものの、切欠きを設けることにより、付着によるひび割れの分散性がひび割れの発生に及ぼす影響を考慮できなくなり、CPC 部材のひび割れ問題を取り扱ううえでは不利な条件となる可能性がある。その一方で、ひび割れ位置における拘束棒ひずみの挙動を計測することが可能であり、ケミカルプレストレインとひび割れ抵抗性の関係など、CPC 部材のひび割れ問題をより明確に計測することが可能になると考えた。なお、B 法に準拠することにより、乾燥などによる収縮性が CPC 部材のひび割れ抵抗性に与える影響も検討できる利点がある。

2.2 拘束器具

拘束器具を、写真-1 に示す。拘束器具は、拘束棒と 2 枚の拘束端板を、拘束端板の内側に溶接した 2 個のナットと拘束端板に設けたねじ穴で組み立てたものである。拘束端板の両外側には、引張試験機に取り付けるための大型ナットが溶接されている。また、拘束棒は、JIS G 3109 に規定する C 種 1 号の呼び名 11mm に適合するものであり、長さ 405mm で全

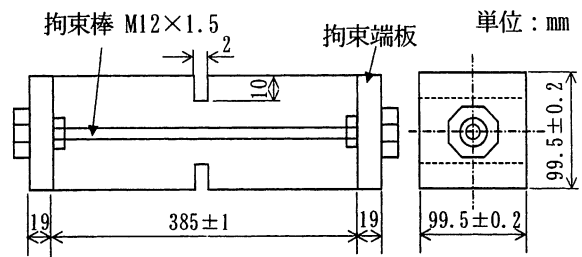
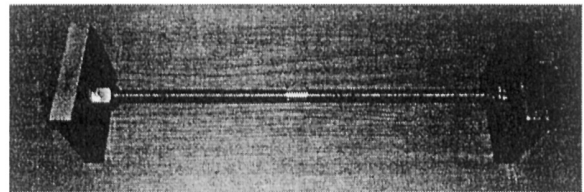
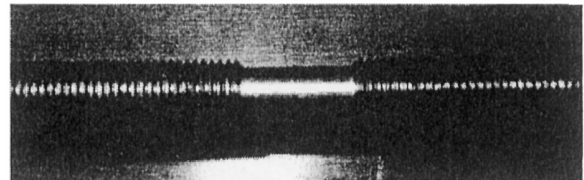


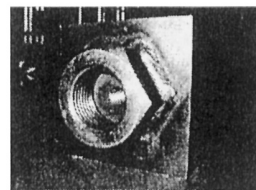
図-1 供試体の形状寸法



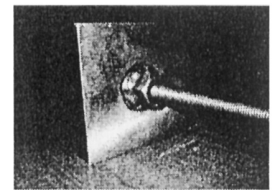
拘束器具全体



ゲージ貼付部



拘束端板内側



拘束端板外側

写真-1 拘束器具

長にわたってねじ転造されている。そして、中央部 2cm の区間は、ひずみゲージを貼付するため全周にわたってねじを切削した。その結果、ゲージ貼付部の断面積は、一般部が 95.03mm² (公称断面積) であるのに対し、61.86mm² (平均値) となった。

2.3 一軸拘束供試体の製作

コンクリートの配合を、表-1 に示す。セメントには普通ポルトランドセメント、骨材には鬼怒川水系産川砂(表乾密度 2.57g/cm³, 吸水率 2.25%, F.M. 2.45) および秩父産砕石(最大寸法 20mm, 表乾密度 2.71g/cm³, 吸水率 0.64%, F.M. 6.59) を、それぞれ使用した。ま

た、膨張材には、エトリンガイト系（構造用）を使用し、所定量をセメントに置き換えた。

コンクリートの成形は、JIS A 6202 に準じた。供試体の個数は、同一条件の試験に対して5個とした。養生は、コンクリートの打込み後 24 時間まで室温 20℃で湿布養生し、脱型後は試験の直前まで標準水中養生した。また、切欠きは、既製のアルミニウム製平板にグリースを塗布したものを型枠にあらかじめ設置し、脱型時に平板を撤去する方法で設置した。

図-2 には、拘束棒に貼付したひずみゲージの計測結果の一例を示す。脱型および平板撤去の前後で計測値に顕著な変動は認められず、本試験では型枠および平板が軸方向の拘束に及ぼす影響は無視できるものと思われる。

3. 一軸引張強度試験の方法

一軸引張強度試験の試験状況を、写真-2 に示す。一軸引張強度試験は変位制御で行い、荷重速度が JIS A 1113-1999 「コンクリートの割裂引張強度試験方法」の荷重速度（毎秒 $0.06 \pm 0.04 \text{ N/mm}^2$ ）と同等となるように、変位速度を調整した。一軸拘束供試体の取り付けは、引張試験機に固定された球座付きのボルトを拘束端板の両外側に溶接されている大型ナットにねじ込む方法で行った。取り付け治具に球座を用いることで荷重の偏心が低減され、供試体の定着にボルトとナットを用いることにより定着部のすべりを防止する。

計測項目は、ケミカルプレストレイン、荷重、荷重時の拘束棒ひずみおよびひび割れ幅とした。ケミカルプレストレインおよび荷重時の拘束棒ひずみの計測は、拘束棒の中央部に貼付した2本のひずみゲージにより行い、荷重の計測は、引張試験機に設置されたロードセルにより行った。また、ひび割れ幅の計測は、切欠きを跨いで瞬間接着剤で固定した標点間距離 50mm のパイ型変位計2台で行った。なお、本試験では、コンクリート表面の

表-1 コンクリートの配合表

W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				
	セメント	膨張材	水	細骨材	粗骨材
40	425	0	170	655	1075
	385	40			
	365	60			
50	340	0	170	804	991
	300	40			
	287	0			
60	247	40	172	857	976
	227	60			

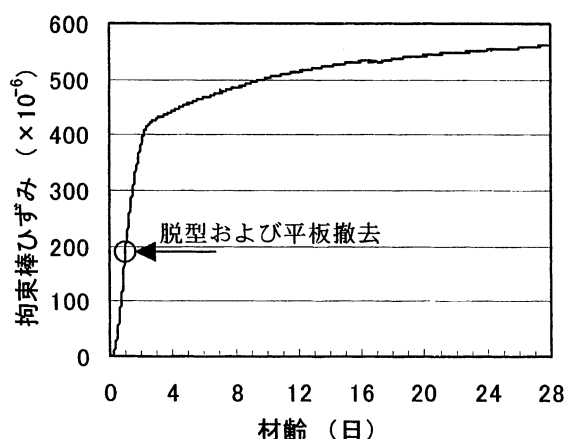


図-2 拘束棒ひずみの計測結果

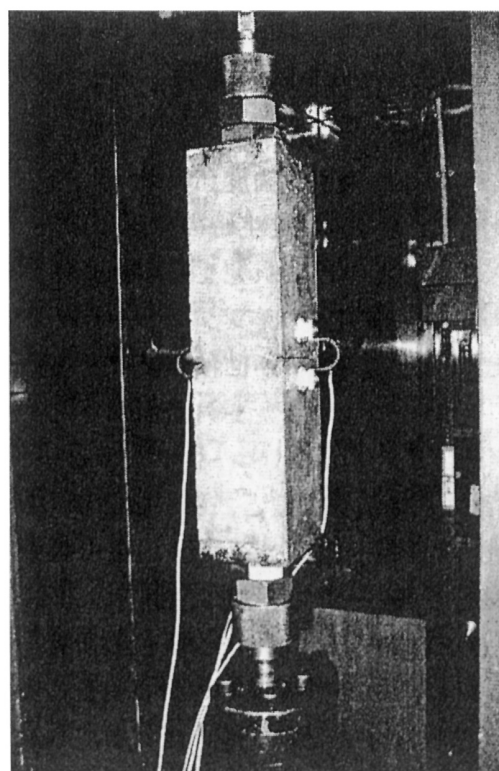


写真-2 一軸引張強度試験の状況

乾燥の程度がひび割れ抵抗性に大きな影響を与えると考えられたため、コンクリート表面には乾燥処理が必要となるひずみゲージは貼付せず、また、試験中には水を噴霧するなどして極力乾燥の影響を防いだ。

4. 試験精度および妥当性の検証

4.1 強度のばらつき

一軸引張強度の変動係数と JIS A 1113-1999 に準じた割裂引張強度および JIS A 1114-1993 に準じた圧縮強度の変動係数を比較し、一軸引張強度試験の精度を検証した。それぞれの変動係数を、図-4～図-6 に示す。図中の凡例は、W/B(%) - E(kg/m³) である。ここで、一軸引張強度は、ひび割れ発生時の荷重と拘束棒ひずみから、式(1)で算出した。

引張強度の変動係数は、一軸引張および割裂引張ともに圧縮強度に比べて大きく、一軸引張強度と割裂引張強度ではほぼ同等であった。すなわち、一軸引張強度のばらつきは割裂引張強度とほぼ等しく、一軸引張強度試験が十分な精度を有することが示された。

$$f_t = (P - \epsilon_{scr} \times E_s \times A_s) / A_c \quad (1)$$

ここに、

- f_t : 一軸引張強度 (N/mm²)
- P : ひび割れ発生時の荷重 (N)
- ε_{scr} : ひび割れ発生時の拘束棒ひずみ
- E_s : 拘束棒のヤング率 (N/mm²)
- A_s : 拘束棒の断面積 (mm²)
- A_c : コンクリートの断面積 (mm²)

4.2 一軸引張強度と割裂引張強度の関係

RC 部材の一軸引張強度と割裂引張強度の関係を、図-7 に示す。図中の凡例は、W/B(%) - 材齢 (日) である。既往の研究^{5)・6)}によれば、一軸引張強度と割裂引張強度の関係はおおむね一致する傾向にある。本試験でも、材齢や強度に拘わらず、両者はほぼ一致した。

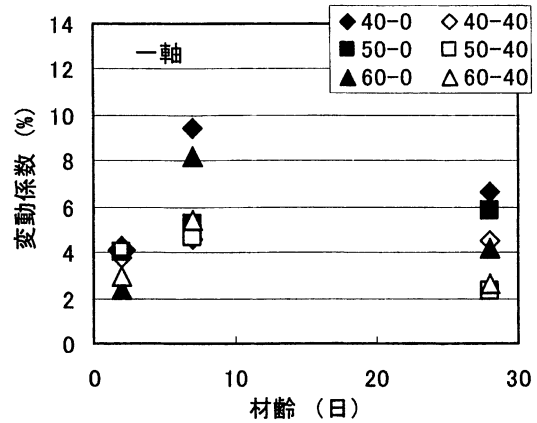


図-4 一軸引張強度の変動係数

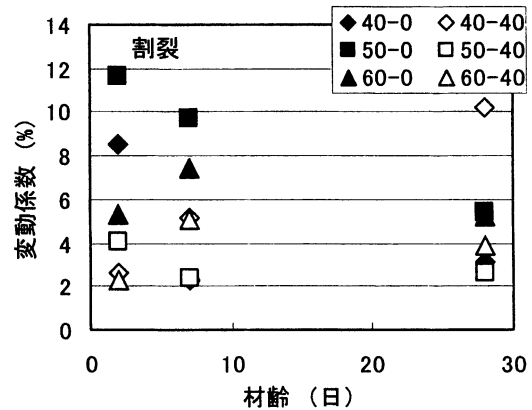


図-5 割裂引張強度の変動係数

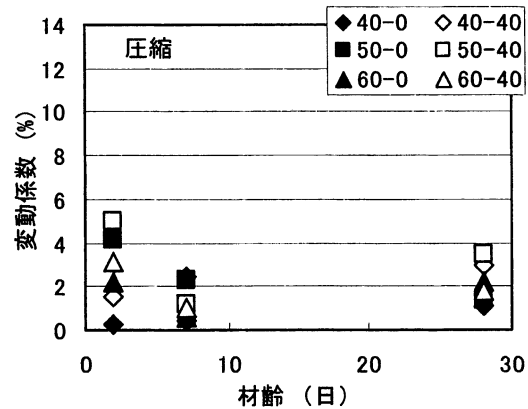


図-6 圧縮強度の変動係数

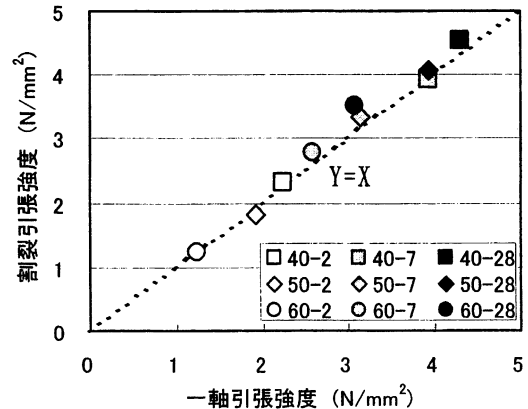


図-7 一軸引張強度と割裂引張強度

4.3 拘束棒ひずみのばらつき

拘束棒に貼付した2本のひずみゲージは、ひび割れ発生後に若干ばらつくものの、ひび割れ発生前の偏差は2%程度であり、荷重の偏心はほぼ排除できた。また、図-8には、ひび割れ発生時の拘束棒ひずみの変動係数を示す。図中の凡例は、W/B(%)-E(kg/m³)である。拘束棒ひずみのばらつきは、ケミカルプレストレスの有無、水結合材比および材齢に拘わらず、割裂引張強度とほぼ同等であった。

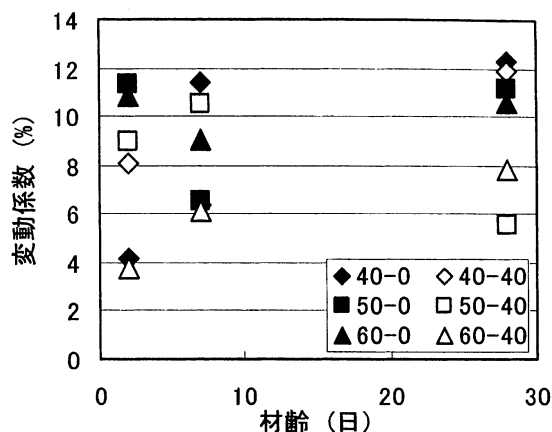


図-8 拘束棒ひずみの変動係数

4.4 ひび割れ幅のばらつき

ひび割れ幅の変動係数を、図-9に示す。図中の凡例は、W/B(%)-E(kg/m³)-材齢(日)である。ひび割れ幅の変動係数は、ひび割れ幅が0.1mm以下の場合に若干大きく、0.1~0.25mmで小さく、0.25~0.3mmを超えると急激に大きくなる傾向にあった。ひび割れ幅が0.25~0.3mmを超えると変動係数が急激に大きくなったのは、瞬間接着剤で固定したパイ型変位計が剥れたためである。

パイ型変位計の固定方法には改良の余地が残るものの、パイ型変位計が剥れるまでの変動係数はいずれの水準もおおよそ10%以下であった。

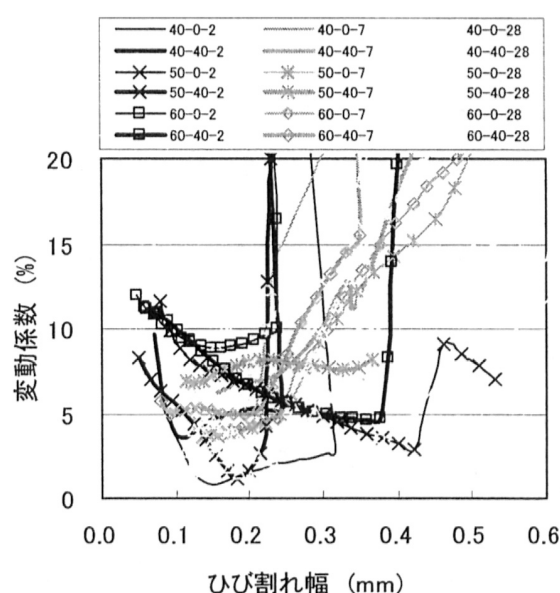


図-9 ひび割れ幅の変動係数

5. 一軸引張強度試験結果の一例

一軸引張強度試験結果の一例を、図-10~図-12に示す。

拘束棒ひずみと荷重の計測結果から、CPC部材はひび割れ発生までの塑性変形が大きいことや、適度に膨張させた場合(本試験ではE=40kg/m³の場合)には、ひび割れ発生後の拘束棒ひずみがほぼケミカルプレストレインに相当する量だけ小さくなることが認められる。また、過度に膨張させた場合(本試験ではE=60kg/m³の場合)には、拘束棒とコンクリートとの付着により生じる引張剛性効果が低下し、ひび割れ発生後の拘束棒ひずみがケミカ

ルプレストレインほど小さくならず、特に膨張が十分でなくケミカルプレストレインが小さい若材齢においては、力学的性状の改善効果が顕著に低下している。

ひび割れ幅の計測結果から、CPC部材は同一荷重に対するひび割れ幅が小さくなるのが明らかである。さらに、過度に膨張させた場合には、特に若材齢において引張剛性効果が低下する影響が大きく、ひび割れ幅の低減効果が減少している。

これらの計測結果に示すように、本試験方法は、圧縮や割裂引張による強度試験や拘束膨張試験では評価できないCPC部材の力学的性状を、比較的簡便に評価できる可能性が高い。

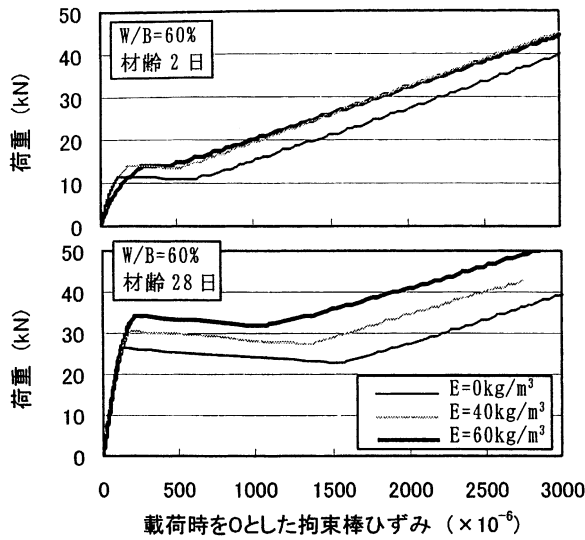


図-10 拘束棒ひずみ（載荷時0）と荷重

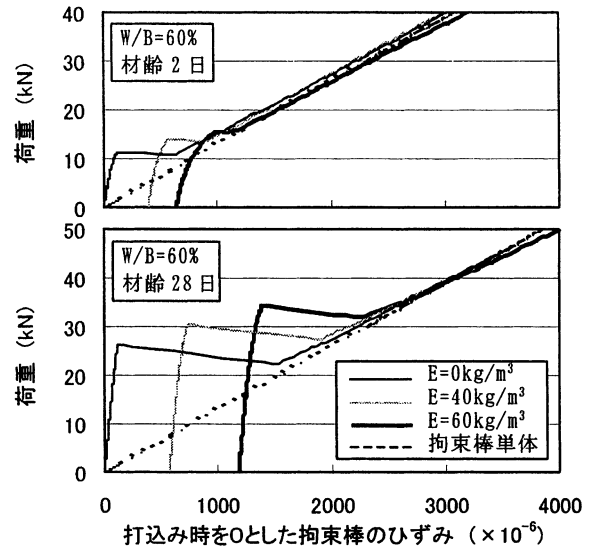


図-11 拘束棒ひずみ（打込み時0）と荷重

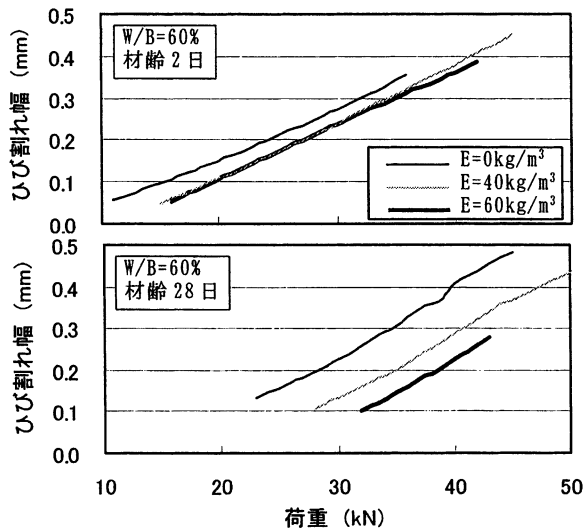


図-12 ひび割れ幅の計測結果

6. おわりに

膨張コンクリートによる鉄筋コンクリート部材の力学的性状の改善効果を評価する手法の一つとして、CPC部材の一軸引張強度試験方法について検討した。その結果、本報で報告した一軸引張強度試験は、CPC部材の力学的性状を比較的簡便に十分な精度で評価できる可能性が高く、CPC部材の力学的性状に関する基礎的な評価試験になり得ると考える。現在、一軸引張強度試験の実用化に向けて、曲げ載荷試験との相関性や乾燥収縮に関する実験を行っており、これらの結果についても機会があれば報告したい。

参考文献

- 1) コンクリートライブラリー75 膨張コンクリートの設計施工指針, 土木学会, 1993年7月
- 2) 細田 暁, 岸 利治: 微視的機構に着目した膨張コンクリートのひび割れ抵抗性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, pp.595-600, 2001
- 3) 岡村 甫, 辻 幸和: ケミカルプレストレストコンクリート部材の力学的諸性状, セメント技術年報, No.26, pp.494-498, 1972
- 4) 井手一雄, 樋口正典, 辻 幸和: 鋼材で拘束された膨張コンクリートの引張強度特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.179-184, 2003
- 5) 秋田 宏, 小出英夫, 外門正直: コンクリートの直接引張試験における実験的方法, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.643-648, 1999
- 6) 吉本 彰, 長谷川博, 川上正史: コンクリートおよびモルタルの純引張, 圧裂および曲げ強度の比較, セメント・コンクリート, No.435, pp.42-48, 1983.5