膨張コンクリートの長さ変化率の測定器具と測定方法

栖原健太郎^{*1} 辻幸和^{*2} 真下昌章^{*1} 小竹弘寿^{*1}

^{*1} デンカ株式会社 インフラソリューション開発研究所(〒194-8560 東京都町田市旭町 3-5-1)

^{*2} NPO 法人持続可能な社会基盤研究会(〒107-0052 東京都港区赤坂 1-1-16)

要旨：膨張コンクリートの一軸拘束膨張試験方法の A 法および一軸拘束膨張・収縮試験方法の B 法について、JIS A 6202 に規定されているダイヤルゲージ法だけでなくコンタクトゲージ法も併用し、A 法および B 法の PC 鋼棒とコンクリートとの付着が長さ変化率に及ぼす影響を実験的に検討した。その結果、A 法では収縮率が -200×10^{-6} 程度までは B 法と同様に収縮率が測定できることを、B 法では収縮率が -300×10^{-6} 程度を超えると PC 鋼棒の転造ねじによる付着が端部で充分でなくなり、コンタクトゲージ法に比べて、ダイヤルゲージ法による収縮率の絶対値が小さくなることを、それぞれ明らかとした。B 法における収縮率の適用範囲を限定する必要があること、および A 法にコンタクトゲージ法も併用すると、膨張コンクリートの一軸拘束状態の膨張率の測定を経た後の、拘束の無い収縮率も測定できる可能性を示した。

キーワード：膨張コンクリート、A 法、B 法、長さ変化率、一軸拘束、収縮率、ダイヤルゲージ法、コンタクトゲージ法

1. はじめに

JIS A 6202「コンクリート用膨張材」附属書 B¹⁾には、A 法一軸拘束膨張試験および B 法一軸拘束膨張・収縮試験について、ダイヤルゲージ法による長さ変化率の測定方法が規定されている。適用される一軸拘束器具は、軸方向の拘束となる PC 鋼棒の両端に拘束端板を配置したものである。PC 鋼棒は、A 法では丸鋼を、B 法では表面に転造ねじを施した PC 鋼棒を使用している。

一軸拘束における膨張率は、膨張コンクリートの膨張が両端板を押し広げて PC 鋼棒を引っ張り、その伸び量を測定して長さ変化率を求めるもので、A 法と B 法はほぼ同じ値を示すことが報告されている²⁻⁴⁾。

一方、収縮率は、PC 鋼棒の転造ねじの付着により、コンクリートの収縮が拘束できる B 法のみが適用されている。Photo. 1 は、半割鉄筋等を介して割裂した A 法と B 法の一軸拘束供試体の破断面である。写真に示すように、B 法の転造ねじ部にはモルタルが密に詰まっており、この機械的な付着によって PC 鋼棒に圧縮を伝達されるものである。拘束収縮量はコンクリート両端面間の縮みであり、その縮み量を両端面間の距離で除して収縮率を求める。そのため、端面付近の付着の不十分な縮みも含めた一軸拘束収縮率となっている²⁻⁴⁾。しかしながら、転造ねじを有する B 法であっても、ある値以上にコンクリートが収縮した場合に、その付着が不十分となり、コンクリートの収縮挙動を評価できていない可能性が指摘されている²⁻⁴⁾。

本文では A 法と B 法について、JIS A 6202 に規定

a) A-type method

b) B-type method

Photo. 1 Restraining bar in specimen of the uniaxial restraint device

されているダイヤルゲージ法だけでなく、供試体コンクリートの収縮量を直接測定することを目的としてコンタクトゲージ法も併用した実験結果を報告する。そして、PC 鋼棒のねじによる付着が一軸拘束収縮率に及ぼす影響を実験的に検討した結果についても報告する。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの材料と配合

セメントには普通ボルトランドセメントを、膨張材に

Table 1 Mix proportions

Mix Proportions		W/C + Ex (%)	s/a (%)	Air (%)	Unit weight (kg/m ³)						SL (cm)	Air (%)
					W	C	Ex	S1	S2	G		
PL1	A	56.5	55.2	4.5	174	308	0	727	271	811	8.0	4.5
CSA1		56.5	55.2	4.5	174	288	20	727	271	811	8.0	4.6
PL2	B	46.1	49.0	2.0	174	378	0	672	218	927	15.0	2.8
CSA2		46.1	49.0	2.0	174	323	55	672	218	927	15.0	3.3

Table 2 Specimens

JIS A 6202 Measuring Method	Mix Proportions	Kind of concrete	Restraining bar
A	PL1	A	Degreasing
	CSA1		
	PL1	A	Greasing
	CSA1		
	PL2	B	Degreasing
	CSA2		
B	PL1	A	Degreasing
	CSA1		
	PL2	B	
	CSA2

a) A-type method

b) B-type method

Photo. 2 Measuring styles of expansive and shrinkage deformations by A-type method devices and B-type method devices

Table 3 Curing and Measuring

Age (Days)	Event	Curing	Measurement*1	
			DG	CG
0	Placing	Water	Adjusted	
1	Remolding		Measure	
3			Measure	
5				Adjusted
7		Drying	Measure	Measure
Over 8			Measure	Measure

*1 DG : Dial Gauge, CG : Contact Gauge

はエトリンガイト系の 30 型¹⁾(標準単位量が 30kg/m³の膨張材)と、エトリンガイト石灰複合系の 20 型¹⁾(標準単位量が 20kg/m³の膨張材)を使用した。細骨材は砕砂と山砂の混合砂を、粗骨材は砕石 2005 をそれぞれ用いた。

コンクリートの配合を Table 1 に示す。単位水量を 174kg/m³として、水結合材比が 56.5 %の一般コンクリート用(以下一般用と略称する)の A 配合と、水結合材比が 46.1 %のコンクリート製品用(以下製品用と略称する)の B 配合の 2 種類を選定した。一般用のコンクリートには 20 型の膨張材を 20kg/m³、製品用には 30 型の膨張材を 55kg/m³、それぞれセメントに置換した。

実験対象のコンクリートは、膨張材を使用しない 2 種類の普通コンクリートを含めて合計 4 種類である。

2.2 供試体の種別と作製方法

供試体の種別を Table 2 に示す。一軸拘束器具は JIS A 6202「コンクリート用膨張材」附属書 B に規定されている A 法および B 法とし、Table 1 の 4 種類のコンクリートをそれぞれ打ち込んで、供試体を作製した。また、A 法一軸拘束器具において、拘束鋼棒のアセトンによる脱脂処理を行わず型枠の内面と同様な剥離剤を塗布した供試体を、一般用のコンクリートの配合 A についてのみ加えた。JIS A 6202 ではコンクリートと拘束器具が接触する部分である端板の内側と拘束鋼棒は、有機溶剤によって油分をふき取ることが記載されている。今回の実験では、剥離剤の塗布により、A 法の丸鋼表面とコンクリートの付着の程度をより低減した場合を想定して、その水準を加えた。なお、1 水準あたりの一軸拘束供試体は、n 数を 2 とした。Photo. 2 に A 法および B 法によるダイヤルゲージ法での測定状況を、拘束器具と標準棒とともに示す。

Table 3 に供試体の養生方法と測定の手順を示す。ダイヤルゲージ法の測定は、A 法および B 法ともに打込み前を基点とした。コンタクトゲージ法は、材齢 5 日にゲージ長が 200mm となるようにコンタクトチップを貼付し、材齢 7 日を基点として随時測長を行った。コンタクトチップの貼付位置を、供試体の形状寸法とともに Fig. 1 に示す。測長は 1 体の供試体あたり 4 箇所として、その平均値をコンタクトゲージ法の測定値とした。

3. フレッシュ性状および圧縮強度

Table 1 にはスランプと空気量も示している。いずれの配合とも、膨張材をセメントに置換して用いてもほとんど変化しないことが確かめられた。

Table 4 に各配合の圧縮強度を示す。膨張材を内割で用いたため、一般用の配合では材齢 7 日、28 日ともに膨張コンクリートの圧縮強度は、普通コンクリートに比べてわずかに低下した。一方、単位膨張材量が 55kg/m^3 と多い製品用の配合の膨張コンクリートでは、一軸拘束膨張率が 700×10^{-6} と大きくなり、JIS A 1132 の直径が 100mm で高さが 200mm の拘束のない円柱供試体の圧縮強度は、普通コンクリートに比べて 80 % 程度に低下した。

4. ダイヤルゲージ法による長さ変化率

A 法および B 法のダイヤルゲージ法による長さ変化率の経時変化を Fig. 2 に示す。材齢 7 日までの水中養生における膨張コンクリートの膨張挙動は、A 法および B 法で大きな差は認められず、ほぼ 1 対 1 で対応している。そして、一般用の CSA1 で約 200×10^{-6} の、製品用の CSA2 で約 700×10^{-6} の一軸拘束膨張率となっている。

材齢 7 日以降の収縮時の挙動に着目すると、普通コンクリートでは一般用、製品用ともに収縮率が $-200 \sim -300 \times 10^{-6}$ までは、A 法および B 法にほとんど差はなくほぼ同様の収縮率を示している。これ以降、A 法ではその後の収縮がほとんど認められなくなった。一般用の膨張コンクリートでも同様に、収縮率が -300×10^{-6} 付近で A 法の収縮がほとんど認められなくなった。一方、製品用の膨張コンクリートは膨張側にあるため、A 法と B 法にほとんど差はないことが認められる。

Fig. 3 は A 法の長さ変化率について、PC 鋼棒のアセトンによる脱脂の有無を比較したものである。脱脂処理

Table 4 Compressive strength

Age (Days)	Compressive strength (N/mm^2)			
	PL1	CSA1	PL2	CSA2
7	35.2	32.7	45.9	37.4
28	46.7	43.5	58.3	48.1

Fig. 2 Length Change by dial gauge

を施したものは、前述したように -300×10^{-6} 程度まで収縮した後の収縮はほとんど認められなくなっている。一方、脱脂処理を施していないものは、 -100×10^{-6} 程度まで収縮した後に一定値を示した。脱脂処理を施していないものは、コンクリートの収縮が PC 鋼棒に十分に伝わっていないことが示唆される。剥離剤を塗布したことによって、PC 鋼棒とコンクリートとの付着がさらに不十分になったことを示している。

Fig. 4 は A 法と B 法のダイヤルゲージ法による測定値を対比したものである。なお、図中には A 法と B 法との長さ変化率の差が顕著になった箇所を矢印で図示した。この図より、膨張側では A 法と B 法の測定値がほぼ 1 対 1 で対応していることが確かめられた。一軸拘束における膨張率は、膨張コンクリートの膨張が両端板を押し広げて PC 鋼棒を引っ張る。拘束鋼材比、拘束端版の面積が同様である場合、JIS A 6202 の一軸拘束膨

張試験の供試体の長さにおいて、拘束鋼棒の表面形状の違いが一軸拘束膨張率に与える影響は小さいと考えられる。一方の収縮側では、図中の矢印で示したように収縮率がある限界を超過しない範囲では、A 法と B 法の測

Fig. 3 Influence of greasing by dial gauge

定値はほぼ 1 対 1 で対応しているが、ある限界値を超過した場合には A 法の測定値は B 法よりも小さくなっていることも認められる。収縮側に移った膨張コンクリートの収縮は、PC 鋼棒との付着によって拘束されるが、その拘束の程度である付着強度は転造ねじを切った B 法の方が、ねじの無い A 法よりも大きいためである。すなわち、付着強度の大きい B 法による収縮率の方が絶対値で大きい乾燥収縮率まで測定ができるのである。

5. ダイヤルゲージ法とコンタクトゲージ法

ダイヤルゲージ法とコンタクトゲージ法で測定した長さ変化率の経時変化を、配合の種類ごとに Fig. 5 および Fig. 6 に示す。一般用の配合 A を Fig. 5 に、製品用の配合 B を Fig. 6 にそれぞれ示している。

膨張側の挙動は、特に Fig. 6 b) に示した製品用の配合 B からダイヤルゲージ法とコンタクトゲージ法に大きな差はなく、ほぼ同値を示していることは、供試体のバラツキはあるものの、A 法および B 法のいずれとも認められる。

a) Mix proportion A

b) Mix proportion B

Fig. 4 Length changes compared A-type with B-type method

a) Plain concrete

b) Expansive concrete

Fig. 5 Length Change compared dial gauge with contact gauge (Mix proportion A)

Fig. 6 Length Change compared dial gauge with contact gauge (Mix proportion B)

Fig. 7 Length Change compared dial gauge with contact gauge (A-type method)

Fig. 8 Length Change compared dial gauge with contact gauge (B-type method)

一方、収縮側においては、A 法および B 法ともに普通コンクリートでは、ダイヤルゲージ法による測定値は、コンタクトゲージ法に比べて収縮率の絶対値が小さくなっている。そして特に A 法において著しくなっ

ている。この現象は、膨張コンクリートについても膨張率の小さい一般用の配合 A についても同様に認められる。

Fig. 7 と Fig. 8 はダイヤルゲージ法とコンタクトゲージ法の測定値を、配合ごとに A 法と B 法に分けて、対

Fig. 9 Length Change data of A-type method compared dial gauge with contact gauge

比して示したものである。なお、図中にはダイヤルゲージ法とコンタクトゲージ法との長さ変化率の差が顕著になった箇所を矢印で図示した。A 法による測定値を示した Fig. 7 では、普通コンクリートの収縮過程におけるコンタクトゲージ法の収縮率がダイヤルゲージ法の収縮率から離れて大きくなる現象が明瞭である。いずれの方法も 2 体の測定値を示して、2 体間のばらつきが少し大きくなっているものの、離脱する限界値の乾燥収縮率の絶対値は、普通コンクリートで 200×10^{-6} 、膨張コンクリートの膨張量の少ない配合 A で 300×10^{-6} を超えた程度である。

B 法による測定値を示した Fig. 8 は、Fig. 7 ほど顕著でないが、普通コンクリートと配合 A の膨張コンクリートで、乾燥収縮率の絶対値が 300×10^{-6} 程度を超えると、コンタクトゲージ法の収縮率がダイヤルゲージ法の収縮率よりも徐々に大きくなっていくことが認められる。転造ねじを加工した PC 鋼棒でも、乾燥収縮率が大きくなると付着応力度の大きい端部において、充分な付着力を示さなくなったことを示唆している。

Fig. 9 は Fig. 7 の a) と b) をまとめ、油(剥離剤)を塗布した状態のものも追加したダイヤルゲージ法とコンタクトゲージ法の測定値を対比して示している。この図より、A 法ではダイヤルゲージ法による乾燥収縮率が絶対値で $100 \sim 300 \times 10^{-6}$ に達すると、コンクリートと PC 鋼棒との付着が不十分となり、コンクリートの収縮が PC 鋼棒に十分に伝達されず、コンタクトゲージ法に比べて小さくなる。また、乾燥が進むとこの現象が顕著になっていることが明瞭である。さらに、油(剥離剤)を塗布した状態のものは、アセトンで脱脂処理をしたものよりも早い乾燥段階において、ダイヤルゲージ法とコンタクトゲージ法の測定値の乖離が認められる。

Photo. 3 は乾燥収縮が進んだ A 法の拘束端板とコンクリートの境界を示したものである。この写真に示すように、拘束端板とコンクリートの間に隙間が確認でき、PC 鋼棒との付着が不十分になったことを示している。なお B 法の供試体においては、この写真のような明確

Photo. 3 Opened Spacing between plate and concrete In A method device

な隙間は約 2 年間の乾燥においても認められていない。

6. まとめ

膨張コンクリートの一軸拘束膨張試験方法の A 法および一軸拘束膨張・収縮試験方法の B 法について、ダイヤルゲージ法だけでなく、コンタクトゲージ法も併用して、A 法および B 法の一軸拘束器具における PC 鋼棒とコンクリートの付着が長さ変化率の測定値に及ぼす影響を実験的に検討した結果、以下の知見を得た。

- (1) 膨張側の膨張率は、既報^{2,3)}のとおり A 法と B 法でほぼ等しい値を示す。
- (2) 丸鋼を使用した A 法であっても、PC 鋼棒の表面をアセトンで脱脂処理をすると収縮率が -200×10^{-6} 程度までであれば、乾燥収縮率も測定できる可能性が示唆された。
- (3) B 法の PC 鋼棒の転造ねじによる付着は、乾燥が進むと端部で充分とはいえない。そのため乾燥収縮率で -300×10^{-6} 程度を超えて収縮した場合、コンクリート表面を測定するコンタクトゲージ法に比べて、ダイヤルゲージ法の乾燥収縮率の絶対値が小さくなり、拘束鋼棒と一体となつての乾燥収縮挙動を適切に評価できない。B 法における収縮率の適用範囲を限定する必要がある。
- (4) A 法一軸拘束器具を用いて、膨張作用時にはダイヤルゲージ法で、乾燥収縮時にはコンタクトゲージ法で、それぞれ長さ変化率を測定することにより、一軸拘束状態の膨張率とその後の一軸拘束を受けない乾燥収縮率をそれぞれ分離して求める可能性が示された。丸鋼の PC 鋼棒を型枠の内面と同様に油(剥離剤)を塗布した状態で試験に供することにより、一軸拘束状態を受けた膨張後の一軸拘束を受けない乾燥収縮率を明瞭に測定できることが示唆された。今後、実験データを収集していきたい。

参考文献：

- 1) JIS A 6202「コンクリート用膨張材」、日本規格協会 (2017)
- 2) 辻幸和、佐藤喜悦：一軸拘束試験方法による膨張コンクリートの乾燥収縮性状、セメント技術年報、37、pp. 409-412 (1983)
- 3) 辻幸和：膨張コンクリートの一軸拘束膨張および収縮試験方法に関する研究、土木学会論文集、第 378 号/V-6、pp. 283-286 (1987)
- 4) 辻幸和、栖原健太郎：膨張コンクリートの JIS 試験方法 A 法および B 法一軸拘束器具による膨張・収縮特性、コンクリートテクノ、Vol. 35、No. 9、pp. 60-66 (2016)

MEASUREING METHODS AND DEVICES OF LENGTH CHANGE FOR EXPANSIVE CONCRETE

Kentaro SUHARA^{*1}, Yukikazu TSUJI^{*2}, Masaaki MASHIMO^{*1} and Hirotoishi OTAKE^{*1}

^{*1} DENKA Co., Ltd., Infrastructure & Solutions Development Research Institute (3-5-1, Asahimachi, Machida-shi, Tokyo 194-8560, Japan)

^{*2} NPO SUSTAINABLE CONSTRUCTION (1-1-16, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052, Japan)

ABSTRACT : Two type methods of A and B uniaxially restrained specimens are defined by JIS A 6202. An A type method is used for measuring restrained expansion and a B type method is used to measure both restrained expansion and restrained drying shrinkage of expansive concrete. This paper discusses mainly experimental results concerning of drying shrinkage properties measured till two years after one week expansion by two type uniaxially restrained specimens and two measuring instruments. A dial gauge method was used to measure expansion and drying shrinkage according to JIS A 6202. Two marks of gauge length 200mm were also pasted on the concrete surface to measure drying shrinkage with a contact type strain-gauge. Uniaxially restrained expansion measured by the A type specimen is almost the same as the value by the B type one. Drying shrinkage measured by dial gauge is almost the same as the shrinkage by contact type strain-gauge, up to a limit value. However, beyond the limit drying shrinkage value, the shrinkage measured by contact type strain-gauge is larger than the value by dial gauge even though in the B type method with a screw threaded PC bar. It is suggested that unrestrained drying shrinkage could be measured after uniaxially restrained expansion by the A type method only with a combination of dial gauge and contact type strain-gauge.

KEY WORDS : Expansive concrete, A-type method, B-type method, Length change, Uniaxial restraint, Shrinkage, Dial gauge, Contact gauge