

## 鉄筋コンクリート床版(RC床版)用 膨張コンクリートの試験報告

梶山 昭克<sup>1)</sup>

RC床版の乾燥収縮によるひび割れ防止策として近年膨張コンクリートの有用性が認められるようになってきた。しかし、膨張コンクリートの膨張率は、膨張材の使用量(単位膨張材量)や初期膨張が拘束されるか否かなどによって差異が生じる。そこで丸木橋(東北自動車道)の床版に膨張コンクリートを用いるにあたって、単位膨張材量や最適配合を決定するために、各種の試験を行った。その結果、膨張コンクリートの性状などを総合的に判断し、単位膨張材量を $35\text{kg}/\text{m}^3$ とした。また、その時のセメント水比と圧縮強度の関係式を実験的に求めた。

### まえがき

道路橋のRC床版は、コンクリート構造物の中では面積に比べて厚さが極端に薄い構造物であり、輪荷重を直接うけたり、乾燥条件などの外部環境も他の部材に比較して苛酷な状態にあると言える。

一般に、コンクリート構造物にひび割れが発生する原因は種々あるが、外力によって発生するひび割れは別として、材料的な要因によるひび割れの主なものとしては、コンクリートの乾燥収縮によるものが大きい。これはコンクリートの引張強度が小さいことや、伸び能力が不足することに起因するものである。

乾燥収縮によるひび割れの防止策については種々考えられているが、その一つとして膨張性セメント混和材を用いたいわゆる膨張コンクリートの有用性が広く認められるようになり、施工実績も数多く報告されている。

しかし、単位膨張材量と膨張率の関係は、構造物の断面形状や環境条件などによって異なり、配合なども一義的に決定できないのが実情である。

今回、東北自動車道丸木橋の床版に膨張コンクリートを使用するにあたり、単位膨張材量や最適配合を決定するために種々の試験を行ったので、その概要を報告する。

### 1. 試験計画

#### (1) 使用材料

本試験に使用する材料は次のとおりである。

セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	青森県十和田市地内の陸砂
粗骨材	青森県南郷村地内の25mm碎石
混和剤	ポゾリスNo.8
	補助AE剤 ポゾリス#303
膨張材	エクспан(小野田セメント製)

#### (2) コンクリートの設計条件

設計基準強度	240kg f/cm <sup>2</sup> (材令28日)
配合強度	284kg f/cm <sup>2</sup> (材令28日)
スランプ	練り上り時 11±1 cm
	打設時 8±2.5cm
空気量	練り上り時 5±0.5%
	打設時 4±1 %

#### (3) 試験項目

本試験は次の項目について行った。

- ① 骨材試験
- ② セメントおよび膨張材の化学分析、物理試験
- ③ 最適細骨材料の確認試験
- ④ 単位膨張材量の決定試験
- ⑤ 膨張コンクリートのセメント水比と強度の関係式の算出試験

1) 東京橋梁技術部次長

- ⑥ 常用および膨張コンクリートのプロクター貫入抵抗、ブリージング試験

なお、以下の報告では上記試験項目のうち、③、④、⑤について行うものとする。

## 2. 試験内容および方法

### (1) 最適細骨材率の確認試験

常用コンクリートの細骨材率を基準として、単位膨張材量を変化させた配合について最適細骨材率の確認を行った。単位膨張材量は既応の実施例を参考にして、セメント量 300kg/m<sup>3</sup> に対する内割りで、0 (常用コンクリート)、30、35、40kg/m<sup>3</sup> の 4 種類とした。また、細骨材率は、39、42、45% の 3 種類を考え、スランプ値、空気量、コンクリート温度などを測定した。

表-1 に本試験に用いた供試体の配合を示す。

表-1 最適細骨材率試験の配合表

項目 種類	セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			水	セメント	膨張材	砂	砂利	ポゾリス No.8	ポゾリス #303
常用コンクリート	54.7	39.0	164	300	0	696	1258	0.750	15 <sub>cc</sub>
		42.0				750	1197	0.750	12
		45.0				803	1135	0.750	9
膨張コンクリート	54.7	39.0	164	270	30	696	1258	0.750	15
		42.0				750	1197	0.750	12
		45.0				803	1135	0.750	9
	54.7	39.0	164	265	35	696	1258	0.750	15
		42.0				750	1197	0.750	12
		45.0				803	1135	0.750	9
	54.7	39.0	164	260	40	696	1258	0.750	15
		42.0				750	1197	0.750	12
		45.0				803	1135	0.750	9

### (2) 単位膨張材量の決定試験

単位膨張材量と膨張率あるいは収縮率の関係は、多くの要因の影響を受け、一概には決定できないものである。既応例をみても種々検討されており、一般に単位膨張材量が増加すれば膨張率が增加するが、圧縮強度や凍結融解に対する耐久性が低下する傾向にあると言われている。

したがって、本試験では単位膨張材量を2.(1)の4種類とし、拘束の有無による圧縮強度、および膨張あるいは収縮率に着目して試験を行うことにした。(圧縮強度試験については45kg/m<sup>3</sup>についても行った。)

圧縮強度試験は次の要領で行った。

#### ① 試験方法

無拘束供試体：JIS A1132 コンクリート強度試験用供試体の作り方

拘束供試体：JIS A6202 コンクリート用膨張材 参考 2 膨張コンクリートの拘束養生による圧縮強度試験方法

#### ② 材 令 7日および28日

膨張収縮率の試験は同様に次の要領に従った。

#### ① 試験方法

無拘束供試体：JIS A1129 モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法

拘束供試体：JIS A6202 コンクリート用膨張材 B法

#### ② 基 準 長 供試体脱型直後の長さ

#### ③ 測定間隔 水中養生 7日間毎日

室内養生 7日間毎日

以後、4週、8週、3

ヶ月、6ヶ月

計18回

なお、表-2 に試験項目と供試体の本数を示す。

表-2 単位膨張材量決定試験の試験項目と供試体

試験項目 単位膨張材量 (kg/m <sup>3</sup> )	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)	単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	圧 縮 強 度 (kg/m <sup>2</sup> )				膨 張 率	
					材令 7 日		材令 28 日		拘束	無拘束
					拘束	無拘束	拘束	無拘束		
0	○	○	○	○	3本	3本	3本	3本	3本	3本
30	○	○	○	○	3本	3本	3本	3本	3本	3本
35	○	○	○	○	3本	3本	3本	3本	3本	3本
40	○	○	○	○	3本	3本	3本	3本	3本	3本
45 <sub>※</sub>	○	○	○	○	3本	3本	3本	3本	—	—

(※参考用)

### (3) 膨張コンクリートのセメント水比と強度の関係式算出試験

単位膨張材量の決定試験で求められた膨張材量を用い、単位セメント量を変化させて圧縮強度試験を行い、セメント水比と強度の関係式を求めた。

圧縮強度試験は2.(2)と同じ要領で行う。また、表-3 に本試験に用いた供試体の配合を示す。

表-3 供試体の配合表

項目 種類	セメント (%)	細骨材 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			水	セメント	膨張材	砂	砂利	ポゾリス No.8	ポゾリス #303
A	57.5	42.6	164	250	35	768	1191	0.712	11.4 <sub>cc</sub>
B	54.7	42.0	164	265	35	750	1197	0.750	12.0
C	52.1	41.5	164	280	35	737	1197	0.788	12.6
D	49.7	41.0	164	295	35	724	1200	0.825	13.2

### 3 試験結果および考察

#### (1) 最適細骨材率の確認試験

図-1 に細骨材率とスランプの関係を示す。これによると、膨張材の使用量に関係なく細骨材率が42%付近で設計スランプ値となっている。また、空気量やコンクリート温度は、細骨材率や膨張材の使用量に関係なくほぼ一定であった。

したがって、外観の観察結果とあわせて、細骨材率をいずれの場合においても42%とした。

また、今回の試験で膨張コンクリートの単位水量とスランプの関係、および外観の状況は、常用コンクリートと全く差異のないことが確認できた。

表-4 に最適細骨材率を42%としたときの配合を示す。

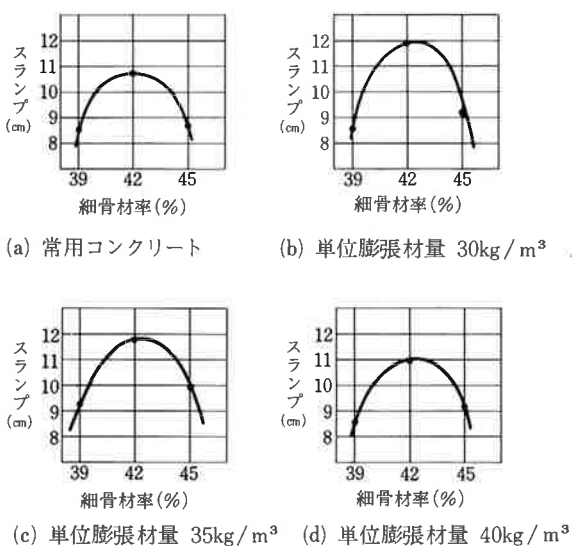


図-1 細骨材率とスランプの関係

表-4 最適細骨材率における配合表

項目 種類	セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			水	セメント	膨張材	砂	砂利	空気量 No. 8	空気量 #303
常用コンクリート	54.7	42.0	164	300	0	750	1197	0.750	12cc
膨張コンクリート	54.7	42.0	164	270	30	750	1197	0.750	12
	54.7	42.0	164	265	35	750	1197	0.750	12
	54.7	42.0	164	260	40	750	1197	0.750	12
参考試験	54.7	42.0	164	255	45	750	1197	0.750	12

#### (2) 単位膨張材量の決定試験

##### a) 圧縮強度試験

図-2 に単位膨張材量と圧縮強度の関係を図示する。これにより次のような傾向がみられる。

- ① 単位膨張材量が多いほど圧縮強度が低下する。
- ② 拘束の有無をみると、7日強度では拘束養生、28日強度では無拘束養生の方が高くなっているが、その差はわずかである。

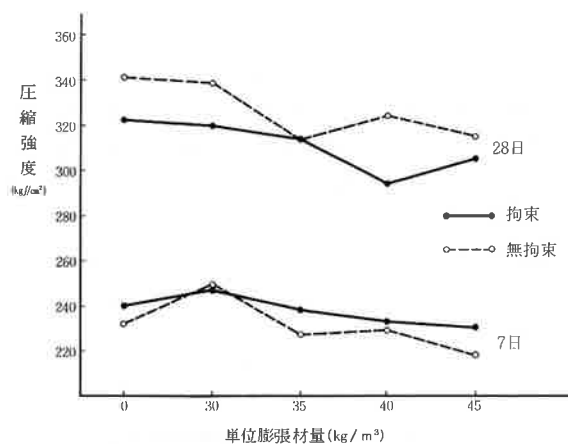


図-2 単位膨張材量と圧縮強度の関係

##### b) 膨張収縮率試験

図-3、図-4 に膨張収縮率の結果を図示する。また、最大膨張率と材令6ヶ月における収縮率を各々図-5、図-6 に示す。

膨張収縮率について次のことが言える。

- ① 最大膨張率は材令5~7日で発生している。
- ② 単位膨張材量が多いほど、膨張率は大きくなる。
- ③ 最大膨張率は単位膨張材量の増加に伴って、拘束供試体ではほぼ直線的に増加するが、無拘束供試体では明確な傾向がみられない。
- ④ 材令6ヶ月収縮率は単位膨張材量が多いほど小さくなる

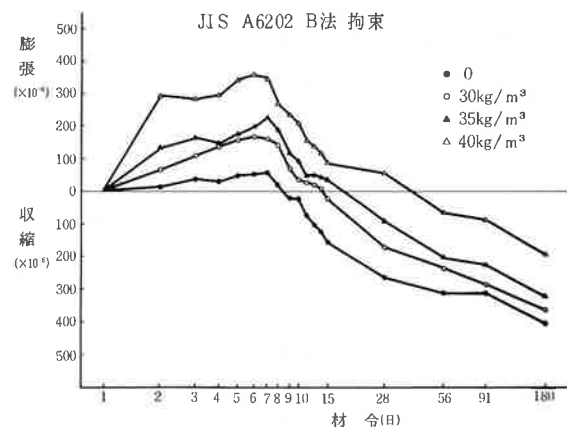


図-3 拘束供試体の膨張収縮率

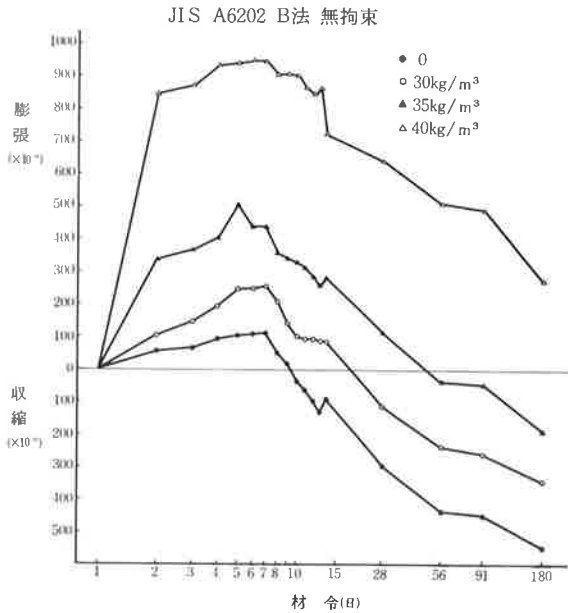


図-4 無拘束供試体の膨張収縮率

c) 単位膨張材量の決定

今回の試験では単位セメント量を300kg/m<sup>3</sup>とし、単位膨張材量はその内割で30、35、40、45kg/m<sup>3</sup>として実施した。(45kg/m<sup>3</sup>は参考用とした)

その結果、図-2に示すように通常いわれているとおり単位膨張材量がある限界を超えると圧縮強度の低下がみられた。すなわち、材令28日強度の場合、拘束供試体では35kg/m<sup>3</sup>から、無拘束供試体では40kg/m<sup>3</sup>から圧縮強度の低下が見られた。

一方、既応の実施例では表-5のように、単位膨張材量は35kg/m<sup>3</sup>が大半を占めており、実橋のひび割れ調査においても膨張コンクリートの効果が大きく、ほとんどひび割れが発生していないようである。

一方、道路公団試験課において実施された単位膨張材量35kg/m<sup>3</sup>の時の凍結融解試験では、耐久性指数が普通コンクリートと比較して5~10%低くなっており、凍結融解に対する耐久性が若干低下している。

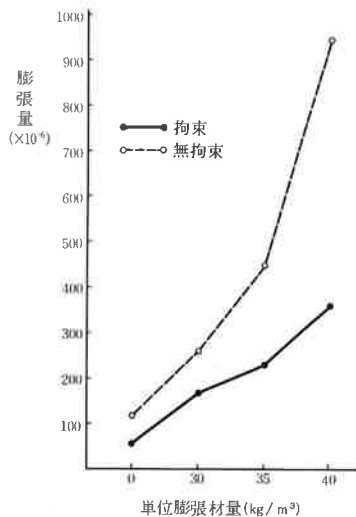


図-5 最大膨張率

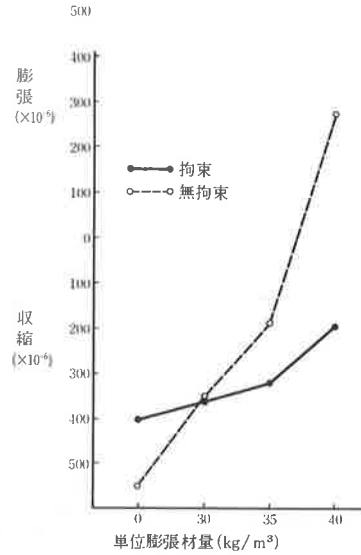


図-6 材令6ヶ月における収縮率

コンクリートには所要の強度や耐久性が要求され、かつひび割れの少ないことが重要である。これらを満足させるためには膨張材の使用量をむやみに多くすることは得策でない。また、本橋の架設地は寒冷地であるので凍結融解に対する耐久性にも留意しなければならない。

以上の条件を総合的に判断して、本橋の単位膨張材量は35kg/m<sup>3</sup>とした。

(3) 膨張コンクリートのセメント水比と強度の関係式

図-7にセメント水比と圧縮強度の関係を示す。この図から次のことが言える。

- ① 材令1週、および4週とも拘束の有無による極端な差がない。
- ② 今回の試験では単位膨張量を35kg/m<sup>3</sup>とし、セメント量を変動させたが、セメント量による強度の変化は少なく、この程度のセメント量の範囲内では、セメント水比と強度には強い

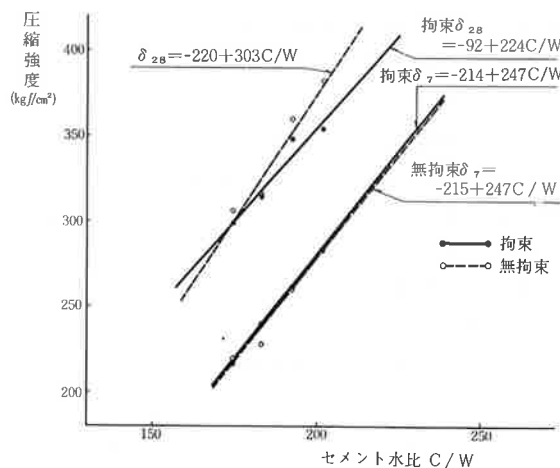


図-7 セメント水比と圧縮強度の関係

表-5 道路公団における膨張コンクリートの施工例

橋名	路線名	施工年月	橋種、橋長	単位膨張材量	膨張材メーカー	膨張量	
						JIS A6202	実橋
黒石浜橋	九州横断自動車道(長崎Ⅱ)諫早I.Cランプ橋	55年10月	鋼単純合成桁(ℓ=41.5m)(巾員 8.5m)	$\sigma_{28}=300\text{kgf/cm}^2$ $C=345\text{kg/m}^3$ の内割35kg/m <sup>3</sup>	小野田 エキスパン	$300 \times 10^{-6}$	$150 \times 10^{-6}$
多良見第2橋	九州横断自動車道(長崎Ⅱ)	57年6月	鋼4径間非合成鉄桁の側径間部(ℓ=36.0m)	$\sigma_{28}=240\text{kgf/cm}^2$ $C=285\text{kg/m}^3$ の内割35kg/m <sup>3</sup>	同上	$250 \times 10^{-6}$	$170 \times 10^{-6}$
小菅高架橋	東関東自動車道(佐原Ⅱ)	58年10月	鋼3径間非合成箱桁橋、および鋼2径間連続非合成鉄桁橋 (44.5+68.2+44.5, 21.75+21.75)	$\sigma_{28}=240\text{kgf/cm}^2$ $C=300\text{kg/m}^3$ の内割35kg/m <sup>3</sup>	デンカCSA		$180 \times 10^{-6}$ (直角) $120 \times 10^{-6}$ (橋軸方向) (3ヶ月)
栗の木川橋	関越自動車道(高崎Ⅱ)	59年10月	鋼3径間連続トラス橋(84.0+96.0+84.0)	$\sigma_{28}=240\text{kgf/cm}^2$ $C=300\text{kg/m}^3$ 中 (セメント260kg/m <sup>3</sup> 膨張材45kg/m <sup>3</sup> 一部外割とした)	アサノ ジブカル	—	—

相関関係がある。

また、図中の直線は最小自乗法によって求めたセメント水比と強度の関係式である。

### あとがき

丸木橋の床版に膨張コンクリートを採用するにあたり、単位膨張材量や、最適配合などを決めるために行った試験について、概要を報告した。この試験結果に基づいて、昭和60年7月に膨張コンクリートを打設し、現在、道路公団においてひび割れの調査や桁あるいは鉄筋コンクリートの応力度の実測などを進めており、その結果が待たれるところである。

コンクリート床版の初期におけるひび割れは乾燥収縮によるものが大部分で、このひび割れ部分から雨水などが浸透し、床版の耐久性がそこなわれることは周知のとおりである。膨張コンクリートは初期ひび割れを、いわゆるケミカルプレストレス、あるいは収縮補償によって防止するもので、近年とくに注目されている工法である。道路公団ではすでに数橋の試験施工が行われており、今後多用される方向にあると思われる。

本報告が膨張コンクリートを使用するうえで何らかの参考になれば幸いである。

なお、本試験は東北開発(株)に委託し、同社の生産技術部において実施したことを付記する。