

[72] 異形H形鋼の拘束を受ける膨張コンクリートの膨張特性

異形H形鋼の拘束を受ける膨張コンクリートの膨張特性

正会員 ○辻 幸和 (群馬大学工学部)

正会員 佐藤政勝 (川崎製鉄株 構造技術研)

1. まえがき

コンクリートと鋼との合成部材の力学的特性を改善するために膨張コンクリートを利用することは、コンクリートの硬化乾燥収縮に起因する悪影響を軽減し、さらに、ケミカルプレストレスも導入できる点から、一つの有力な方法といえる。また、鋼材表面に突起を付けてコンクリートとの付着強度を増すことは、異形鉄筋の例を待つまでもない。

本研究は、これまでの合成部材の力学的特性を改善するための基礎研究として、フランジ表面に圧延工程で突起をつけたH形鋼(異形H形鋼と称する)に膨張コンクリートを用いて、突起部分との付着により主としてコンクリートの膨張作用を拘束した場合の、膨張分布およびケミカルプレストレスの導入性状を実験的に検討したものである。また、このような拘束下におけるこれらの膨張およびケミカルプレストレスの分布を、膨張コンクリートが拘束鋼材に対してなす仕事量の概念を用いて推定する方法も提案する。

2. 実験の概要

実験は、図-1に断面諸元を示す供試体を用いた。膨張コンクリートを異形H形鋼の下部に矩形断面を形成するように打込み、この膨張力をH形鋼が拘束しながら膨張作用を生ずる場合の膨張率を、H形鋼表面にあらかじめ貼ったワイヤストレーンゲージによりコンクリート打込み時より測定した。断面Aのはり供試体は、主として膨張コンクリート中の膨張材の使用量の影響を求めるために用いた。また、同一配合の膨張コンクリートを断面AおよびBに打込んで、断面諸元の及ぼす影響についても検討を行った。断面AおよびBの長さは、それぞれ2900mmおよび4900mmである。

異形H形鋼は、川崎製鉄株製の形状寸法が190×197×5×7および396×199×7×11のものであって、上下フランジ面の外側にそれぞれ図-2に示すような突起を設け、コンクリートとの付着強度を増加させている。なお、材質はSS41規格のものである。

コンクリートの配合を表-1に示す。単位結合材量C+Eを403kg/m³、単位水量Wを161kg/m³、水結合材比W/(C+E)を40%と一定にし、単位膨張材量Eを0から60kg/m³まで変化したものである。配合名AAからADまでは実験室内で練りませ、配合名BAはレデーミクストコンクリートである。

膨張材は電気化学工業株製のエトリンナイト系のものを、セメントは秩父セメント株製の早強ポルトランドセメントを用いた。また、骨材は、配合名AAからADは渡良瀬川産のものを、レデーミクストコンクリートでは、

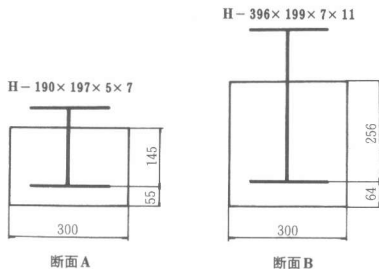


図-1 供試体の断面諸元

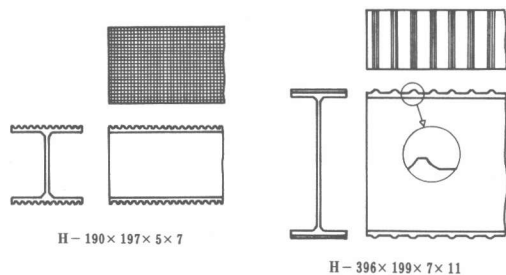


図-2 異形H形鋼の形状

表一 コンクリートの配合, 圧縮強度および一軸拘束膨張率(材令28日)

配合名	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)						スラッシュ (cm)	打込み温度 (°C)	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)			一軸拘束膨張率 (10 ⁻⁶)			備 考
			水 W	セメント C	膨張材 E	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤*			水 中	湿 潤	現 場	水 中	湿 潤	現 場	
AA	40	37	161	403	0	673	1168	—	4.0	9.5	639	632	630	—	—	—	断面A
AB	40	37	161	368	35	672	1167	—	8.1	11.0	590	570	631	315	195	100	
AC	40	37	161	353	50	672	1166	—	8.0	11.0	367	540	616	815	485	280	
AD	40	37	161	343	60	672	1166	—	8.0	10.0	99	342	573	1590	800	440	
BA	40	37	161	358	45	663	1146	1.01	12.0	10.0	343	365	357	350	220	110	

*ポゾリス No.5 L

栃木県黒川産のものをを用いた。

はり供試体は実験室内で湿布養生を行った。養生期間中の実験室内における一日の最低気温が-1~2℃, 最高気温が8~12℃であったが, 特別な保温・給熱養生は行わなかった。はり供試体の打込みと同時に, JIS A 6202コンクリート用膨張材に規定するA法の一軸拘束供試体と圧縮試験用シリンダー(φ10×20cm)を作製した。それぞれ3本ずつ, 20℃水中養生, 20℃湿潤養生およびはり供試体と同じ場所で湿布養生(現場養生と称する)とを行った。一軸拘束供試体は材令1日で, はり供試体とシリンダーは材令2日で脱型し, それぞれ所定の養生を行った。

3. 使用した膨張コンクリートの膨張率と強度

使用した膨張コンクリートのJIS A法による一軸拘束膨張率と圧縮強度を表一に示す。膨張率は単位膨張材量だけでなく養生方法によって大きな影響をうけるとともに, この影響は単位膨張材量の多いコンクリートほど著しくなっている。また, 湿布とビニールを併用した同じ湿潤養生でも, 20℃の場合とはり供試体と同じ養生方法とでは, 後者は一日の最低気温が-1~2℃にも下がる寒期における養生だったため, 膨張率が約50%に低下した。膨張材をこのような低温下で有効に利用するためには, 給熱養生が必要である。

材令2日に脱型し, その後自由に膨張する状態で養生した膨張コンクリートの圧縮強度を, 膨張材を用いない普通コンクリートの強度で除した圧縮強度比と, 一軸拘束膨張率との関係を図-3に示す。膨張材の使用量を増加させて, 膨張率を大きくすると強度低下が生じるが, この関係に及ぼす養生方法の影響は小さいようである。そして, 拘束鋼材比が約1%の一軸拘束膨張率にして200~300×10⁻⁶を超えると, 自由膨張したコンクリートは強度が低下しはじめた。実際のはり供試体では, 異形H形鋼により膨張が拘束されるため, 上記ほどの強度低下は生じないが, これらの図表からも, 膨張コンクリートを用いる場合の膨張材の使用量には, 強度面からの限界値があることは明らかである。

4. 異形H形鋼の拘束下における膨張分布

膨張コンクリートの膨張作用は異形H形鋼との付着により拘束される。図-4は, H形鋼下フランジに生ずるはり軸方向の膨張率の分布を示した例である。図-1に示す断面Bの形状をもつ同時に打込んだ2体の供試体の結果であって, 両者の間にほとんど差違はなく, 端面から離れるに従って, 膨張率が大きくなり, ある距離以上はほぼ一定の値となっている。膨張率が一定となる距離は, フランジ幅の約4倍程度で

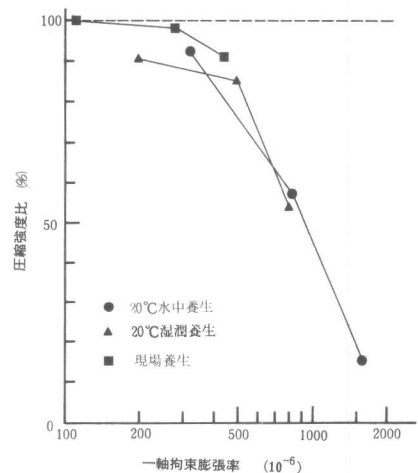


図-3 一軸拘束膨張率と圧縮強度の関係

あって、これより端面から離れた位置では付着によりコンクリートの膨張が十分に拘束されていると考えられる。

膨張率がはり高さ方向にどのように分布するかを明らかにするため、はり中央部分の測定値を高さ方向にプロットした例が図-5から図-7である。測定値にばらつきはあるが、下フランジの膨張率が大きく、上フランジに近づくほど小さくなり、その間にはほぼ直線分布を示すことが認められる。なお、図-5には、膨張材を用いない普通コンクリートの例も示している。湿布養生を行ったにもかかわらず、下フランジで約 100×10^{-6} の収縮率を生じ、この収縮量は上側にいくに従って小さくなっており、膨張コンクリートを用いた場合と逆の傾向を示している。湿布養生は膨張コンクリートを用いた場合と同様に行ったことを考えあわせると、両者の差が膨張コンクリートの使用効果といえよう。

図-6には材令をパラメータにして示しているが、上記の膨張の勾配は材令が経過するほど急になっていることは明らかである。また、単位膨張材量が多いほど直線の勾配も急になっている。すなわち、膨張エネルギーが大きいほど勾配は急になる。

5. 膨張分布およびケミカルプレストレスの推定方法

図-8(a)の断面諸元をもつH形鋼の拘束を受ける場合の軸方向の膨張分布およびケミカルプレストレスの推定方法を以下の通り提案する¹⁾。

まず、単位体積あたりの膨張コンクリートがH形鋼および鉄筋に対してなす仕事量 U は、鋼材の量および配置方法にかかわらず一定であるとの仮定より、上フランジ上縁より x の位置の膨張率を ϵ_x 、ケミカルプレストレスを σ_x とすると、次式が成立する。

$$\epsilon_x \sigma_x = 2U = k \quad \dots\dots\dots(1)$$

上記のように、はり軸方向の膨張率は高さ方向に直線分布すると仮定すると、 ϵ_x は上フランジ上縁の膨張率 ϵ_b とコンクリート下縁の膨張率 ϵ_u より、次式で与えられる。

$$\epsilon_x = \epsilon_b + x(\epsilon_u - \epsilon_b) / h \quad \dots\dots\dots(2)$$

H形鋼および鉄筋に生ずる応力とコンクリートに導入されるケミカルプレストレスとの力の釣り合い条件式より(3)式および(4)式が成立する。

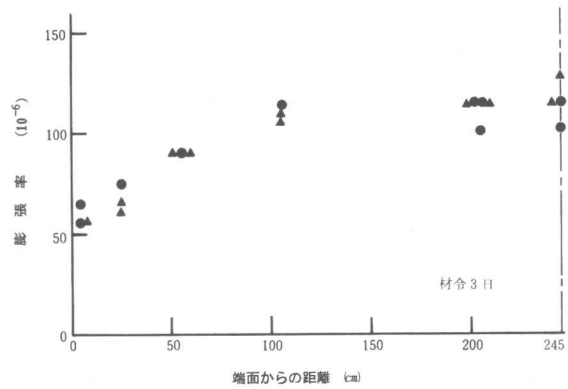


図-4 異形H形鋼下フランジの膨張分布

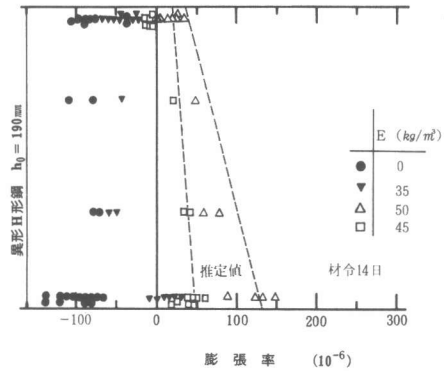


図-5 はり高さ方向への膨張分布(断面A)

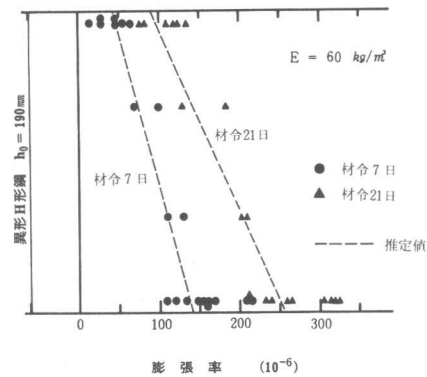


図-6 はり高さ方向への膨張分布(断面A)

$$\int_0^h \sigma dA - \sum A_i \epsilon_i E = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\int_0^h \sigma x dA - \sum A_i \epsilon_i E \ell_i = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、EはH形鋼および鉄筋のヤング係数とする。
 (1)式および(2)式を(3)式および(4)式に代入して式を変形
 すると、次式が求まる。

$$(C_1 + 2 \sum A_i \ell_i) \epsilon_a^2 + 2h (C_2 + \sum A_i \ell_i) \epsilon_a \epsilon_0 - 2b_s h^2 (k/E) \ell_n [(\epsilon_0 + \epsilon_a) / (1 - \nu) \epsilon_0] = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$(C_1 + 3 \sum A_i \ell_i^2) \epsilon_a^2 + 3h (C_2 + 2 \sum A_i \ell_i) \epsilon_a \epsilon_0 + 3h^2 (C_3 + \sum A_i) \epsilon_0^2 - 3h^2 b_s t \times (k/E) = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここに

$$\begin{aligned} \epsilon_a &= \epsilon_u - \epsilon_0 \\ C_1 &= (b_2 - b_1) t_1 + (b_2 - b_1) (h_0 - t_1) + b_s h_0 \\ C_2 &= (b_2 - b_1) t_1^2 + (b_2 - b_1) (h_0 - t_1)^2 + b_s h_0^2 \\ C_3 &= (b_2 - b_1) t_1^3 + (b_2 - b_1) (h_0 - t_1)^3 + b_s h_0^3 \end{aligned}$$

(5)式および(6)式の連立方程式を満足する膨張率 ϵ_0 および ϵ_a が求められるので、(2)式に代入して膨張分布が求まる。また、(1)式に代入してケミカルプレストレスの分布が求まるのである。

単位体積あたりの膨張コンクリートがなす仕事量Uは、そのはりに生ずるコンクリートの膨張エネルギーから定まるのであって、一般には、上記JISに規定されているA法の一軸拘束供試体から求めた値に、推定するはりの断面形状寸法等を考慮して補正した値を用いることができる。

図-5から図-7には破線で現場養生した一軸拘束膨張率を補正せずに用いて、上記の方法により推定した膨張分布を示している。断面Aの小型の供試体は、膨張率を補正せずに用いても、実測値とはほぼ一致した結果を示している。しかしながら、断面Bの大型の供試体では推定値の方が小さい膨張率となり、実測値は、20℃湿潤養生を行った一軸膨張率を補正せずに用いて求めた推定値との間にある。推定の基準となる仕事量Uの値については、まだ今後の検討に待たなければならないが、推定値は膨張分布の傾向と良く一致しており、上記に述べた推定方法は一つの有力な方法と考えられる。

6. あとがき

フランジ表面に突起をつけた異形H形鋼の拘束を受ける膨張コンクリートのはり軸方向の膨張分布の実験結果を報告するとともに、このような分布を推定する方法を提案した。

本研究の実施には、足利工業大学土木工学科佐藤喜悦職員および川村勲、赤岡智之前両職員のご協力を得た。謹んで厚くお礼申し上げる。

参考文献

1) 辻, 横田, 鈴木, 坂田, 渡辺: 膨張材のマスコンクリートへの適用, セメント・コンクリート, No. 405, Nov. 1980.

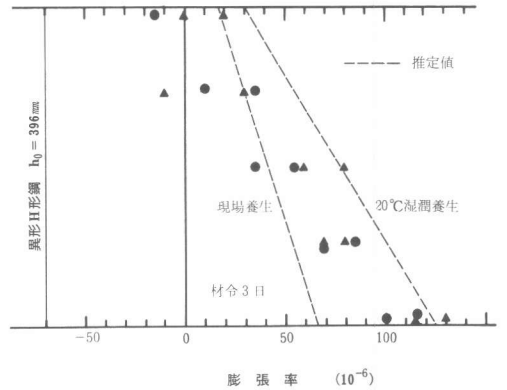


図-7 はり高さ方向への膨張分布(断面B)

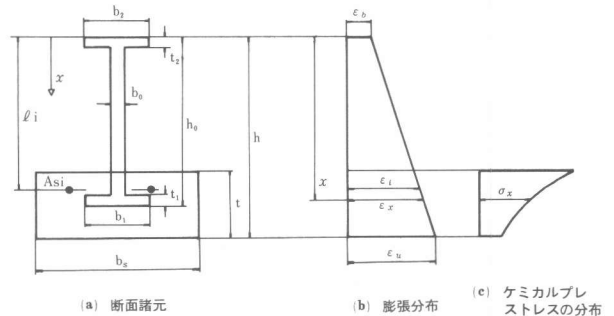


図-8 膨張分布およびケミカルプレストレスの分布の推定方法