

コンクリート橋脚の基部リング拘束耐震補強工法

鹿島 正会員 新保 弘
 極東工業 山根 隆志
 秩父小野田 山田 一夫
 広島大学 フェロー会員 米倉 亜州夫

1. はじめに

阪神・淡路大震災以降各種耐震基準の見直しに伴い、既設橋梁の耐震補強が実施されている。ここでは、既設橋脚の耐震補強工法の合理化を目的として開発した拘束リングと膨張コンクリートによって橋脚の基部をリング補強する耐震補強工法の開発と実橋への適用事例について報告する。

2. 工法の概要

本工法の概要を図-1に示す。本工法では鋼板巻き立てによりせん断補強を行った既設橋脚の基部に、既設断面を内包する拘束リングを設置し、柱と拘束リングの間に膨張性の高い特殊コンクリート（特殊膨張コンクリート）を打設する。リングがコンクリートの硬化時の膨張を拘束することによってリング体（拘束リング+リング内コンクリート）にケミカルプレストレスが発生し、リング体と既設橋脚断面が一体化する。リング体が既設橋脚と一体化することによって橋脚基部断面の有効高さが大きくなるため橋脚の耐力が増加し、また基部断面を拘束することで柱筋の座屈を抑制し、橋脚の靱性を増加させることができる。本工法のメリットを以下に示す。

- ①施工性が良い：通常の曲げ耐力制御工法に比べ構造が単純であるため施工性が良く、工期短縮が可能である。
- ②既設フーチングを傷めない：通常の曲げ耐力補強工法では耐力増加のための既設フーチングへのアンカー施工が必要であるが、本工法ではこれが不要であるためフーチングに損傷を与えることなく補強が行える。
- ③施工環境の改善可能：あと施工アンカーによる騒音・粉塵が発生しないため、施工環境の改善が図れる。

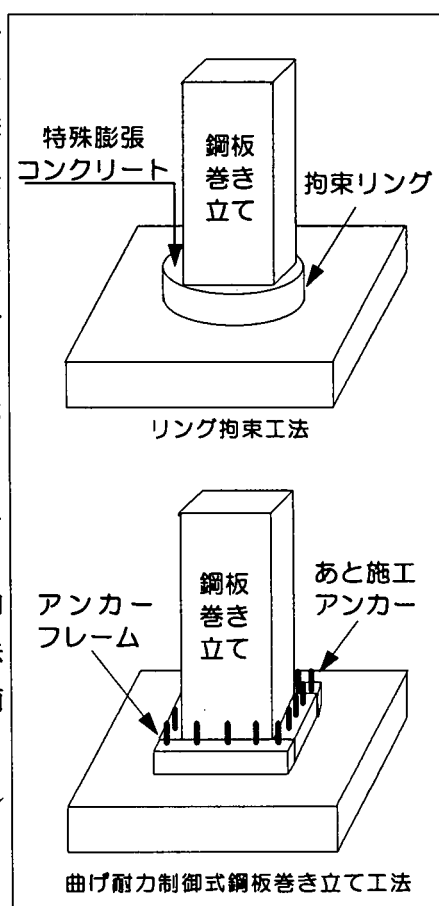


図-1 本工法の概要

3. 室内実験

3.1 膨張圧制御実験

本工法で必要となる膨張圧の制御方法を検討するために、リング拘束のパラメータ実験を行った。実験はリングの径（155mm～684mm）、材質（鋼管、CFRPリング）、板厚（1mm～4mm）の異なるリングの中に配合の異なる特殊膨張コンク

表-1 特殊膨張コンクリートの配合例

粗骨材 最大径 mm	水結合 材比 -	細骨材 率 -	単位量 (kg/m ³)					
			水 W	普通 セメント C	高性能 膨張材 EX	細骨材 S	粗骨材 G	高性能AE 減水剤 add
20	36%	38%	192	458	75	631	1017	2.67

キーワード：橋脚、耐震補強、リング拘束、膨張コンクリート、ケミカルプレストレス

東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部 第二設計部、tel.03-5561-2111、fax.03-5561-2156

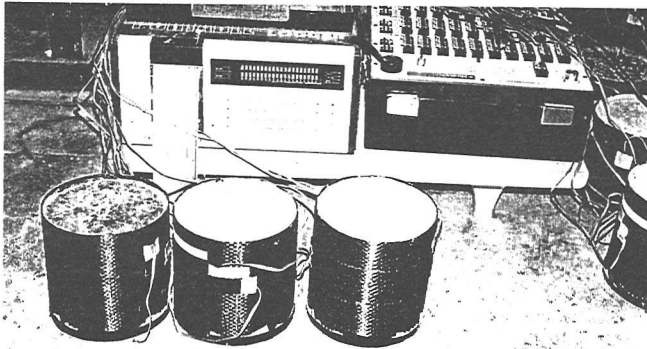


写真-1 膨張圧制御実験の状況

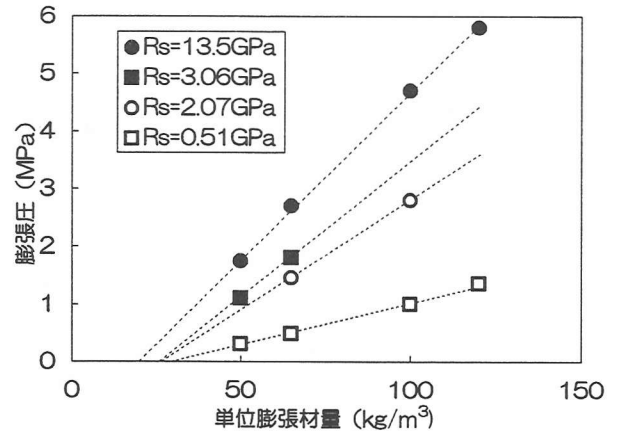


図-2 膨張圧-単位膨張材量-リング剛性の関係

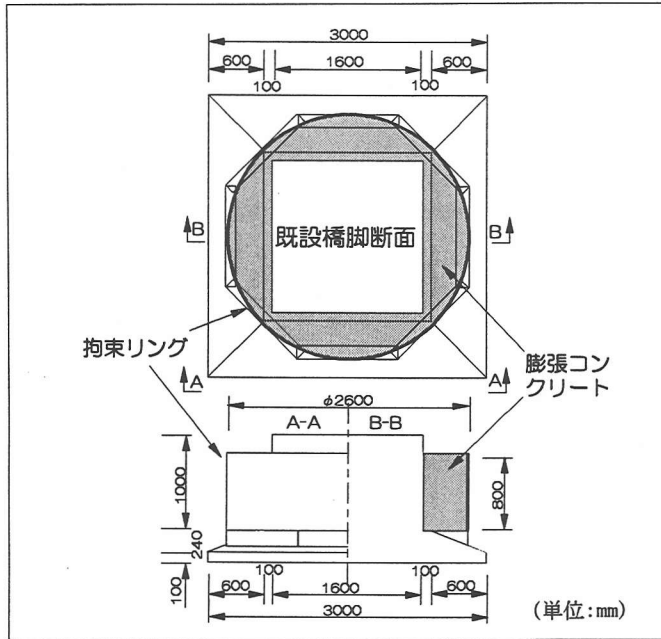


図-3 実物大模型

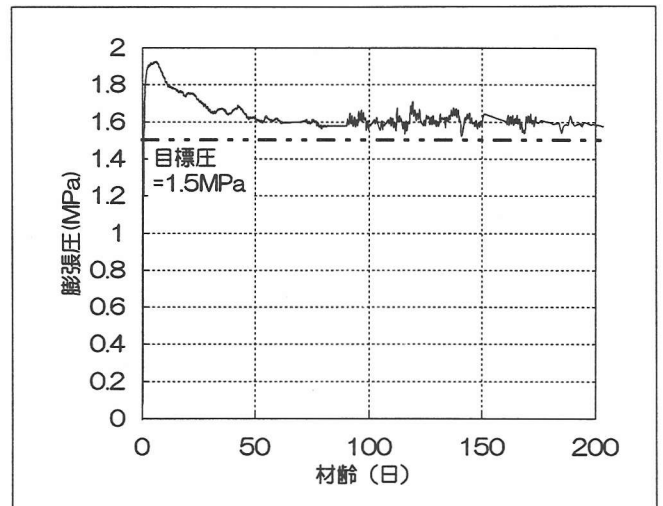


図-4 実物大模型の温度と膨張圧の経時変化

リートを打設し、リングの円周方向のひずみから膨張圧を算定し、膨張圧とリングの諸元、単位膨張材量の関係を整理した。ここで用いた膨張材は生石灰(CaO)を主成分とするもので、一般に用いられているCSA系の膨張材とは異なるものである。実験の状況を写真-1に、特殊膨張コンクリートの配合例を表-1に示す。

実験の結果、図-2に示すように円形拘束リングに発生する膨張圧は使用する特殊膨張材の単位量とリングの剛性(Rs)によって制御できることが明らかとなった。[1]

3.2 実物大模型による材料施工実験

本工法の施工性、膨張コンクリートの温度上昇と膨張圧の寸法依存性について検討するため、図-3に示すような実物大の橋脚基部の模型を製作した。模型にはリング補強を行い、リングひずみとコンクリートの温度を計測した。膨張コンクリートの発熱による温度上昇は膨張コンクリートの中心付近で最大で35℃程度であり、施工上大きな問題とはならないと考えられる。また膨張圧についても、小型模型と同じ基準で配合を定めたところ、図-4に示すようにほぼ目標の膨張圧が得られ、寸法依存性は見られなかった。

また、膨張圧の長期特性については、絶対値として膨張圧が小さいこと、また膨張コンクリートは封かん状態にあるため乾燥収縮は進行しないことなどからこれ以上の膨張圧の低下は考えにくい、確認のため膨張圧の長期特性を継続観察中である。

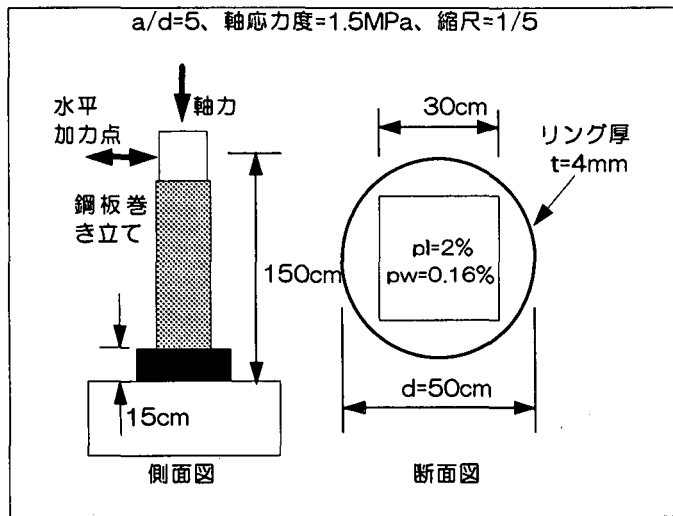


図-5 縮小模型の概要

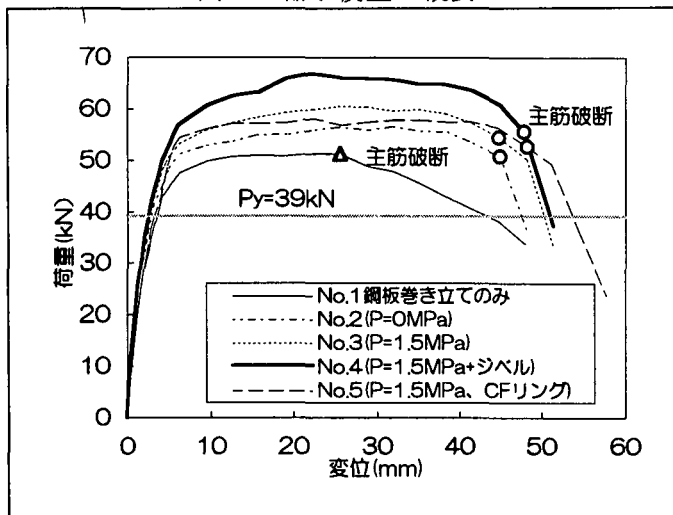


図-6 荷重変位包絡線

3.3 縮小模型による耐震性確認実験

本工法の耐震補強効果を確認するために、図-5に示すような縮小模型を製作し、リング補強の有無や膨張圧の大きさ等をパラメータとした交番水平加力実験を行った。試験体配列を表-2に示す。実験の結果、リング補強を行った試験体はすべて主筋がリングの下面位置で破断する破壊モードとなり、図-6に示すように、リング補強によって耐力で最大30%、変形性能で最大20%の性能改善が見られた。[1]

4. 設計

交番加力実験の結果をもとに本工法の設計的評価方法を定めた。本工法の性能評価はリング断面を矩形の換算断面に置き換えることにより行う。図-7中に換算断面の断面幅の算定式を示す。この換算断面により橋脚の補強後の耐力を計算し、補強断面に道示V耐震設計編に基づいた円形断面のコンクリートの応力ひずみ関係を与えて地震時保有水平耐力の算出に必要な変位を算定する。

また、本工法ではリング体と既設躯体の一体性を高めるために巻き立て鋼板にジベルを設置する場合も想定している。この場合ジベルの設計は、図-8中に示すように圧縮側の既設橋脚とリング体とのせん断面に作用する最大のせん断力に相当する軸力と引張鉄筋の降伏強度分の力を、ジベルの降伏耐力と膨張圧による摩擦で負担するものとした。

表-2 試験体配列

試験体	補強方法	膨張圧	ジベル
No.1	鋼板巻き立てのみ	—	—
No.2	鋼板巻き立て+鋼製リング	OMPpa	なし
No.3	鋼板巻き立て+鋼製リング	1.5MPa	なし
No.4	鋼板巻き立て+鋼製リング	1.5MPa	あり
No.5	鋼板巻き立て+CFリング	1.5MPa	なし

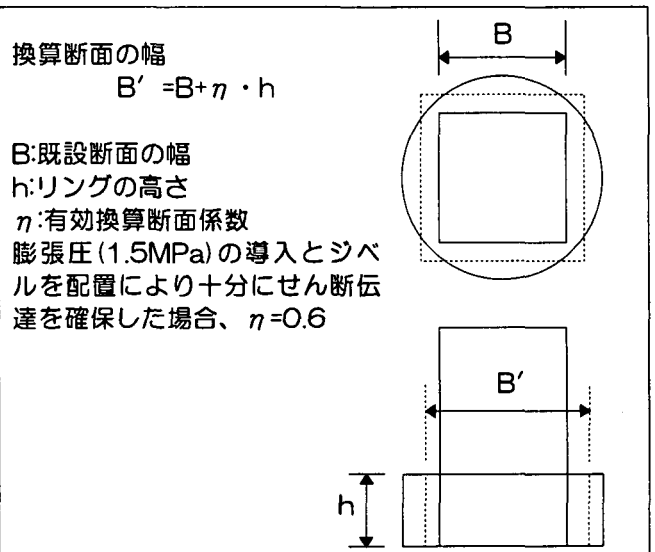


図-7 換算断面の算出

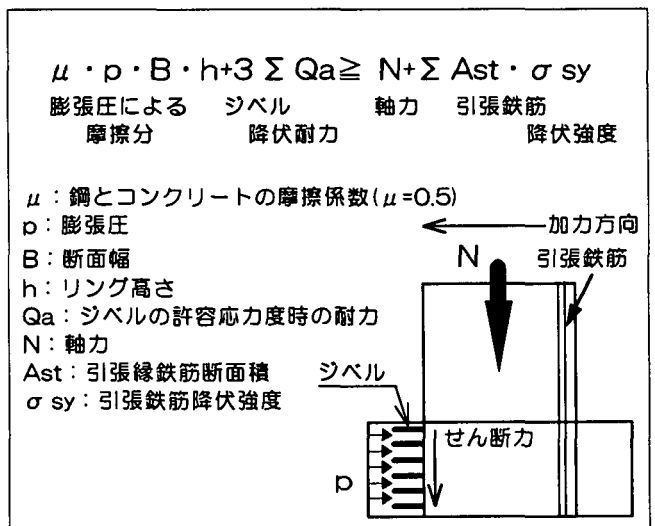


図-8 ジベルの配置量

5. 施工

5.1 工事概要

建設省中国地方建設局試験フィールド事業として、洲崎高架橋のNP3およびNP4橋脚の補強に基部リング拘束補強工法が採用され、実工事での本工法の適用性を検討する機会を得た。図-9に洲崎高架橋の側面図を、図-10にNP3橋脚の構造図を示す。洲崎高架橋の概要を以下に示す。

路線名：一般国道二号岡山バイパス

工事場所：岡山県岡山市内

橋長：945m

幅員：16m

上部工形式：プレテンション方式PC単純T桁橋

下部工形式：張出し式鉄筋コンクリート橋脚

5.2 耐震性の照査

本工事の原設計では復旧仕様に基づいた曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法で設計が行われている。そこで、基部リング拘束工法による耐震補強効果が原設計と同等であることを確認するために、本橋の補強前後の地震時保有水平耐力照査を行った。その結果を表-3に示す。これより、リング拘束工法と曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法による補強後の保有水平耐力は同程度であることから、両工法は同程度の耐震補強効果が期待できることがわかる。

5.3 施工順序

図-11にNP3、NP4橋脚耐震補強工事の施工フローを示す。本工法の工程は橋脚基部補強工のみが在来工法（曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法）と異なる。したがって、ここでは本工法の基部補強工について説明する。図-12に洲崎高架橋で実施した基部リング拘束工法の施工順序を示す。

- ①所定のスタッドジベルを溶接した鋼板を現地に搬入し、橋脚に巻立てた。
- ②基部鋼板リングを設置する台座として不等辺山形鋼を正8角形状に加工し、橋脚基部に設置した（図-13）。台座はあと施工アンカーで高さを調整し、フーチング天端とのすき間に無収縮モルタルを打設した。
- ③半円状に加工した2体のリング鋼板を橋脚基部に建て込み、現場溶接により一体化した（写真-2）。また、溶接部は

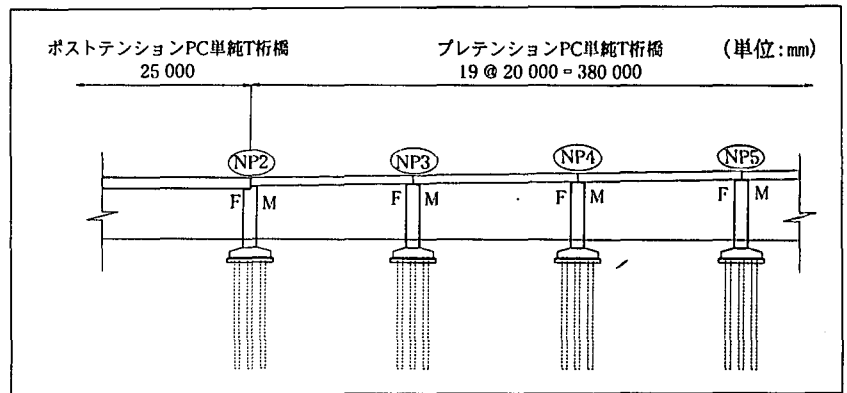


図-9 洲崎高架橋側面図

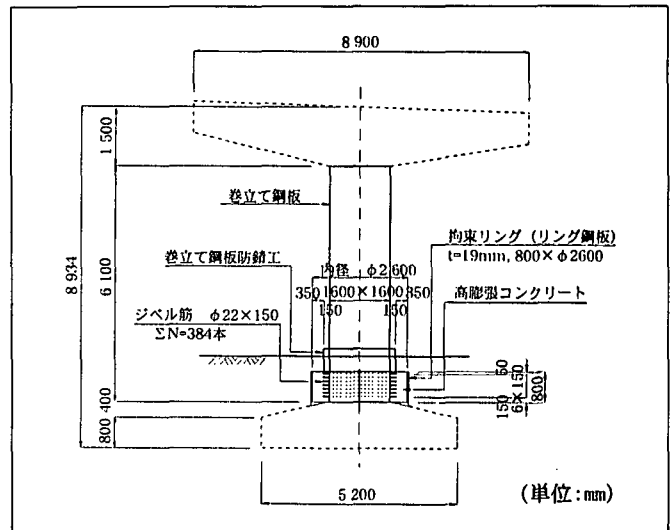


図-10 NP-3, 4 橋脚構造図

表-3 原設計と本工法での保有水平耐力の比較

	橋軸方向			
	μ	Pa(kN)	PE(kN)	Pa/PE
補強前	4.2	790	1435	0.55
曲げ耐力制御式鋼板巻き立て	8.0	1202	991	1.21
基部リング拘束補強	8.0	1057	840	1.26

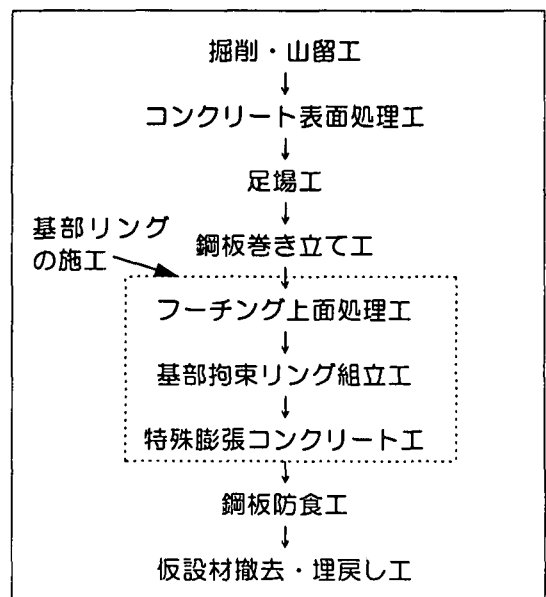


図-11 NP-3, 4 橋脚の施工フロー

超音波探傷試験によって内部欠陥の検査を行った。

④特殊膨張コンクリートは市中の生コン工場において、十分な品質管理のもと製造した。コンクリートはミキサー車から直接リングのなかに打設し、バイブレーターで締固めた。1橋脚あたり2.7m³の特殊膨張コンクリートの打設に要した時間は20分程度であった。

⑤特殊膨張コンクリート打設翌日、コンクリート表面に乾燥防止の目的で樹脂モルタルを上塗りした(写真-3)。

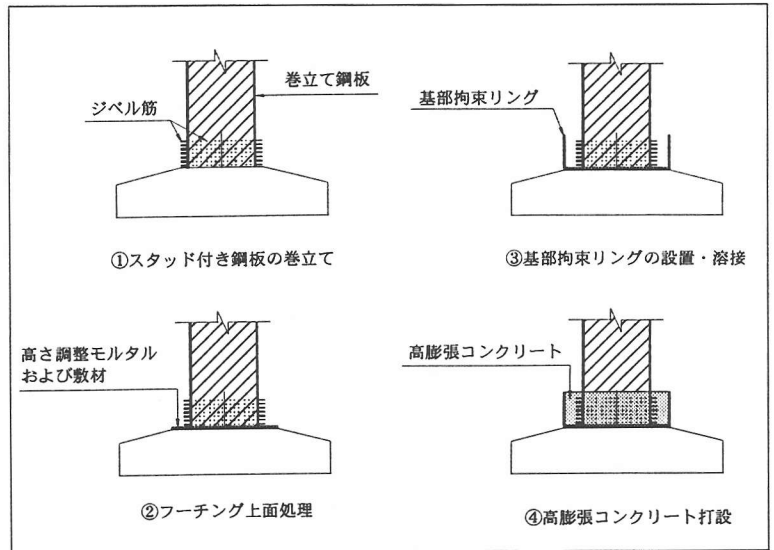


図-12 基部拘束リングの施工順序

5.4 特殊膨張コンクリートの製造

実工事で使用した特殊膨張コンクリートには表-1に示す配合のものを用いた。特殊膨張コンクリートの製造は通常の高強度コンクリートと同様に行い、高性能膨張材は他の材料と同時に、ミキサーの中に直接投入した。

5.5 特殊膨張コンクリートの品質管理

基部リング拘束工法に用いられる膨張コンクリートは、この工法に必要な膨張圧が発生するように設計された特殊膨張コンクリートである。したがって、特殊膨張コンクリートに要求される品質特性は、膨張圧と強度のほか、通常のコングリートに求められる耐久性、水密性、ワーカビリティなどをもち、ばらつきの小さいものでなければならない。

本工事では、通常のコングリートと同様、コンクリート打設時の現場試験として、スランプ試験、空気量測定試験、圧縮強度試験用の供試体採取を行った。圧縮強度用試験体は型枠中に封かんし、現場養生した。さらに、本工法特有の試験として、ひずみゲージを取り付けた小型鋼管に特殊膨張コンクリートを充填し、鋼管のひずみを測定することで膨張圧の管理を行った。

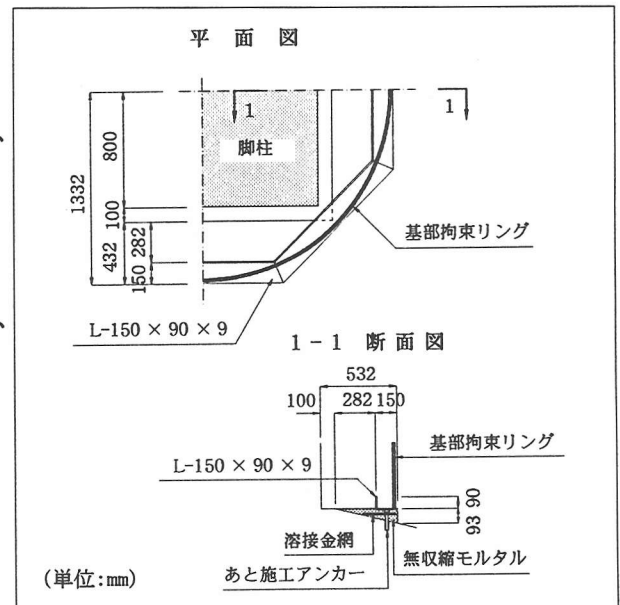


図-13 フーチング表面処理

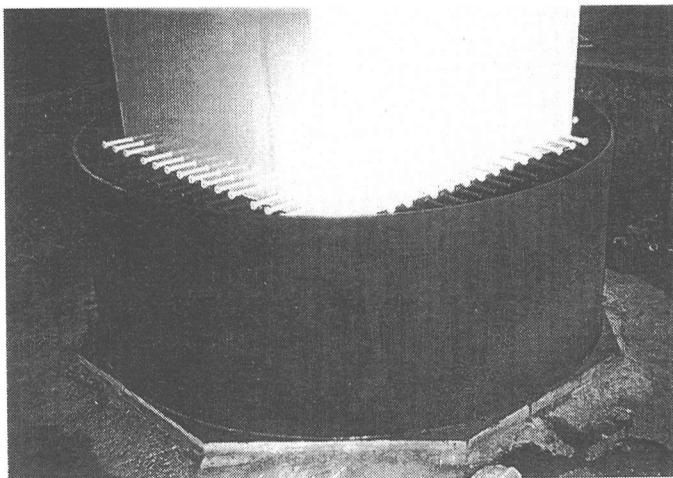


写真-2 リングセット状況

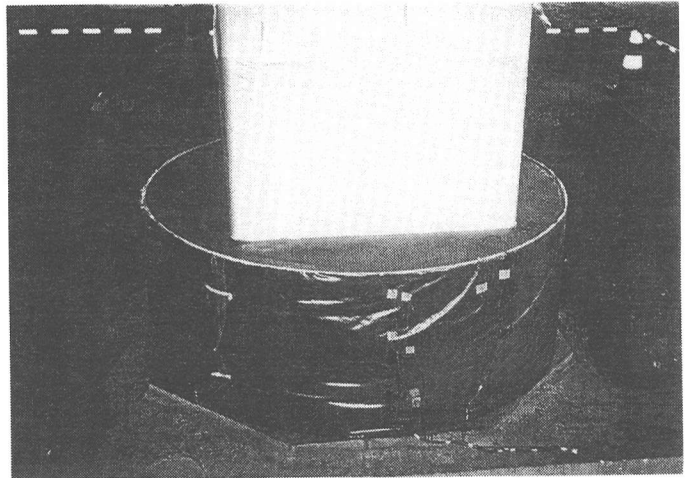


写真-3 コンクリート打設後状況

さらに、実構造物については、熱電対による特殊膨張コンクリート中心部の温度、およびリング鋼板に貼り付けたひずみゲージによる鋼板のひずみ測定を行い、次式により膨張圧を求めた[2]。

$$p = \frac{E \times \left(\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 - 1 \right)}{2(1 - \nu)} \times (\varepsilon_1 + \nu \times \varepsilon_2)$$

ここに、

p : 膨張圧 (GPa)

E : 鋼管の弾性係数 (210GPa)

ν : 鋼管のポアソン比 (0.3)

d_1 : 鋼管の外径

d_2 : 鋼管の内径

ε_1 : 鋼管の横ひずみ

ε_2 : 鋼管の縦ひずみ

圧縮強度試験の結果、特殊膨張コンクリートは2週間で設計基準強度の40N/mm²を超え、28日強度は53.6N/mm²であった。また、特殊膨張コンクリートの温度は打設20時間後に25°Cまで上がり、その後降下した。膨張圧は材令2日で設計膨張圧である1.5MPaを超え、5日以降約1.9MPaで安定した。

5.6 所要日数および歩掛

基部リング拘束補強工法を適用した洲崎高架橋 NP3 橋脚の概略工程を表-4に示す。本報文の執筆時点では今回の施工の実工程と歩掛の正確なデータが整っていないため在来工法と比較した施工性改善に関する評価はできていない。しかし、今回は本

表-4 NP3 橋脚・基部リング補強の概略工程

工 種	5日	10日	15日	20日
巻立て鋼板塗装	■	■		
フーチング上面処理	■			
基部拘束リング設置		■	■	
基部拘束リング塗装			■	■
高膨張コンクリート打設			■	
養生			■	■

工法の初めての適用であったため、計測器の取り付けや見学会など作業を中断することが多かったにもかかわらず、基部リング拘束工法は在来工法と比較して相当の施工日数の短縮、歩掛の縮減を実現することができたと思われる。

6. おわりに

本工法の開発は広島大学、鹿島、秩父小野田、三菱レイヨン、極東工業の共同研究体“高性能複合材料研究会”による共同研究の一環として実施されたものである。また、本工法の試験施工は建設省・中国地方建設局岡山国道工事事務所管轄の試験フィールド事業として実施されたものである。

参考文献：

[1]天野玲子、山田一夫他：既設 RC 橋脚の基部リング拘束耐震補強工法、第2回 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、土木学会、pp. 317~322、1997. 1

[2]原田哲夫・副田孝一ほか：静的破砕材の膨張圧測定方法と膨張圧の諸性質、土木学会論文集、No. 478/V-21, pp. 91~100, 1993. 11