

出雲大社新神楽殿の設計と施工について

下伊豆 隆 三*
立花 勇 二**
貴島 茂***

1. はじめに

出雲大社新神楽殿は出雲大社教特立100年記念事業の一環として、旧神楽殿を解体撤去し、同敷地内にあらたに造営されたもので、玄関アプローチに相当する向拝と神殿を控えた大広間から構成されている。

構造方式の選定にあたり、各種構造方式について比較検討を行ったが、主たる対象要素は下記の4項目であった。

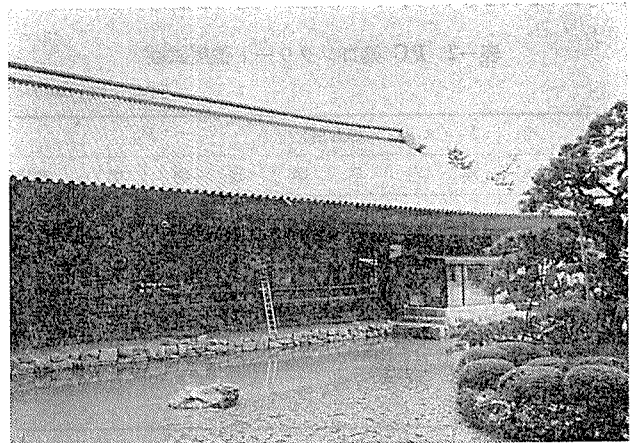
- 1) 耐風、耐震、耐火性を含む耐久性に優れていること。
- 2) 26m×40.48mの大広間無柱空間が可能なこと。
- 3) 直接、構造体を造形的に表現するため、自由度が高く、精度と信頼性の高い施工が可能なこと。
- 4) 建設コスト

なかんずく、設計上与えられた最重要課題は「耐久性に優れていること」であった。すなわち、出雲大社の拝殿や本殿と同様、長年月にわたり、風雪に耐え、天変地異にもびくともせず、毅然として悠久の歴史の中に生き続けることが設計条件であった。

言うまでもなく、最も耐久性に優れた建築の構造方式は木構造であることは歴史が実証しているところである。しかし残念ながら、本構造で26m×40.48mの無柱空間を造ることは不可能である。

一方、鉄骨構造の場合、本敷地が海岸に極めて近く、北西の季節風にさらされるため、鉄骨特有の「錆び」を免れることは不可能であり、耐久性に難点がある。その結果、残された構造方式として、コンクリート系構造に焦点がしぼられることになった。

コンクリートを素材とする構造方式の中では、RC構造、SRC構造が最も普遍的であるが、さて、大スパン架構に適用するとなると、やはり「ひびわれ」の防止が困難であるというコンクリートの宿命的欠点につきまとい、この点が耐久性について懸念されることとなった。



写真一 西側全景

そこで、前述の4条件をほぼ満足する構造方式として、必然的に、主体構造としてプレストレストコンクリート（以下PCと略す）構造が採用されるに至った。

2. 工事概要

工事名称：出雲大社神楽殿御造営工事

工事場所：島根県簸川郡大社町

構造：現場打ち一体式PC、プレキャストPC併用方式。一部RC造。

基礎 ACパイプ φ400, φ350

規模：地下1階、地上1階

延面積 2 035 m²

屋根水平投影面積 1 945 m²

建築主：出雲大社教

建築設計：(株)馬庭建築設計事務所

構造設計：MAI 建築構造研究所

総合施工：(株)森本組

PC工事：オリエンタルコンクリート(株)

監理：上記設計者

工期：昭和54年7月30日～昭和56年9月中旬

3. 構造設計

3.1 使用材料

コンクリート：チャンネル型屋根CH版（以下CH版

* MAI 建築構造研究所

** (株)森本組山陰支店工事長

*** オリエンタルコンクリート(株)大阪支店

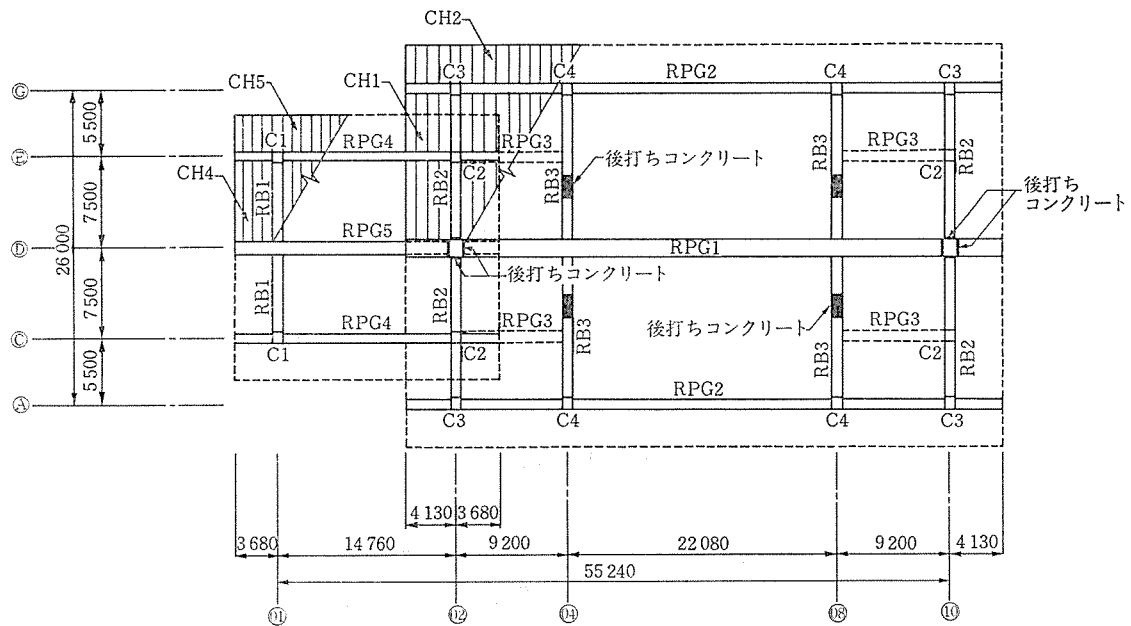


図-1 梁 伏 図

と略す)

$$F_c = 450 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{現場打ち PC } F_c = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{地 下 RC } F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

鉄 筋 : D19~D29 SD 35

D10~D16 SD 30

PC 鋼 材 :

大 梁...8-12.4φ PC ストランド

9-9.3φ PC ストランド

17φ, 23φ, 26φ, 32φ

B種1号 PC 鋼棒

柱.....32φ B種1号 PC 鋼棒

CH 版...12.4φ, 15.2φ PC ストランド

3.2 構造計画

仮定荷重

屋根固定荷重 :

向 拝	屋根 CH 版自重	356
	仕 上 げ	153
	計	509 kg/m ²

大 広 間	屋根 CH 版自重	381
	仕 上 げ	153
	計	534 kg/m ²

積雪荷重 : 200 kg/m² (長期)

風 荷 重 : 速度圧 $q = 60 \sqrt{h}$

地 震 力 : ベースシャー係数 $C_0 = 0.2$

荷重, 外力の処理方法は下記のとおりである。

- 1) 屋根自重は棟梁 RPG1, RPG5, および A, C, E, G 通りラーメン架構で支持し, 棟梁 RPG1 と

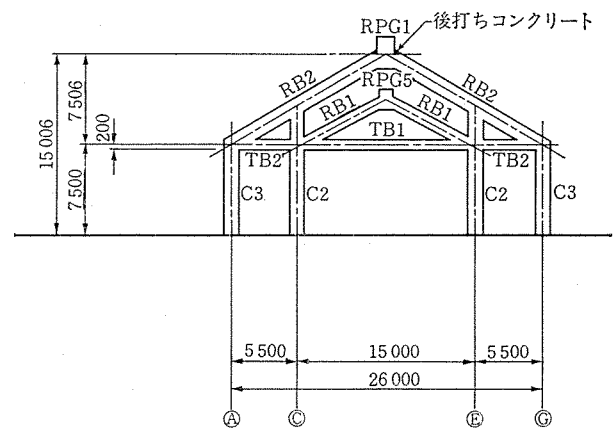


図-2 02 通り断面図

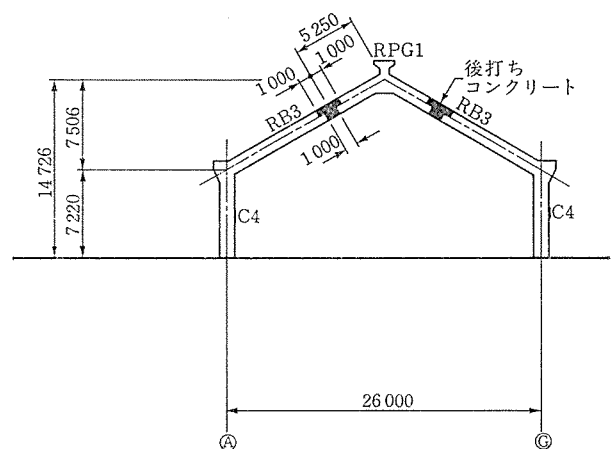


図-3 04 通り断面図

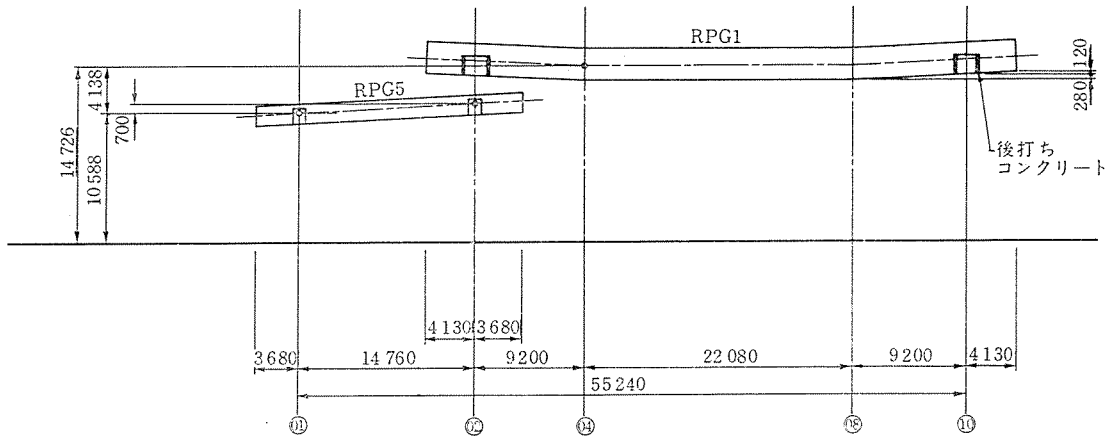


図-4 D通り断面図

RPG5の端部支点反力を01, 02, および10通りのタイビーム付き山形架構で支持する。

- 積載荷重（主に積雪荷重）、風荷重、地震力に対しては上記の架構のほかに04, 08通りの山形ラーメン架構が協力して、全構造体が一体となり対応する。

本構造は立体架構であるから各架構の応力分担が平均化される一方で、架構の応力状態が相当複雑となる。このことは設計上、必ずしも有利になるとは限らない。ゆえに、本例では、外力の処理方法1), 2)に対応し、応力状態を可能な限り明快、かつ設計上有利な状態にするため施工法に若干の工夫を試みている。

工法としては、種々検討の結果、屋根CH版は軽量化をはかり、意匠上、比較的細かいディテールと寸法精度が要求され、また、屋根が急斜面(仰角約30°)でコンクリートの現場打設に適さないためプレキャスト方式とし、主架構は一部を除き現場打ち一体方式を採用した。

3.3 桁行方向架構

桁行方向架構は、向拝部分の14.760mスパンのC, E通りラーメン架構、大広間の9.2×2+22.080m=40.480m, 3スパンのA, G通りラーメン架構から成り、

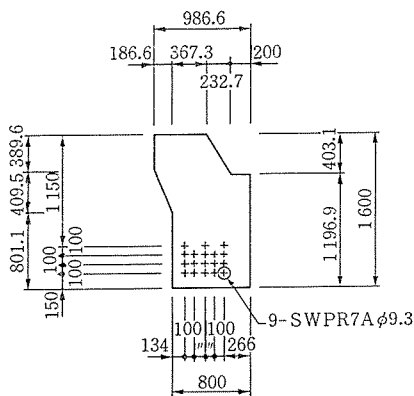


図-5 RPG2断面図

大梁RPG4, RPG2をPC造とし、柱をRC造とする現場打ち一体方式とした。

3.4 棟 梁

向拝部分は比較的屋根面積も小であるから、棟梁RPG5を完全な現場打ち一体式PC造としたが、大広間の棟梁RPG1については、前にも述べたとおり、山形架構の応力状態を明快、かつ、設計上有利にするため、下記の施工順序を採用した。

- 主架構のコンクリート打設時、棟梁RPG1と02通り、10通り山形架構との接合部に、図-2, 図-4に示す切欠き部分（後打ちコンクリートと記す）を設け、かつ、04通り、08通り山形架構の合掌RB3のスパン中央部にも図-3に示す打継ぎ目地（後打ちコンクリートと記す）を設けておく。
- 施工時の荷重状態を配慮してRPG1に対する緊張力導入と屋根CH版の架設を、それぞれ、3段階に分けて実施し、屋根CH版架設完了後の合掌RB3の打継ぎ目地にコンクリート打設を行い、緊張力を導入して棟梁RPG1と一体化する。

その結果、棟梁RPG1は、屋根版自重作用時には02通りと10通り山形架構の頂点を支点とする40.480mスパンのほぼ単純梁に近い状態となり、その他の荷重、外力に対しては02通り、04通り、08通り、および、10通り架構の頂点を支点とする3スパン連続の弾性支持梁として挙動する。このため、RPG1の設計用応力はかなり大きいですが、図-6に示すI形断面形を採用して余力のある部材設計を行った。

3.5 04 通り、08 通り山形架構

04通り、08通り山形ラーメン架構は現場打ち一体施工を行った場合の棟梁RPG1を通じて屋根荷重の大半を支持することになり、架構に過大な応力が生じる。これに対処するため、前述のように、図-3に示す打継ぎ目地を設け、屋根版架設完了後一体化する工法を採り、

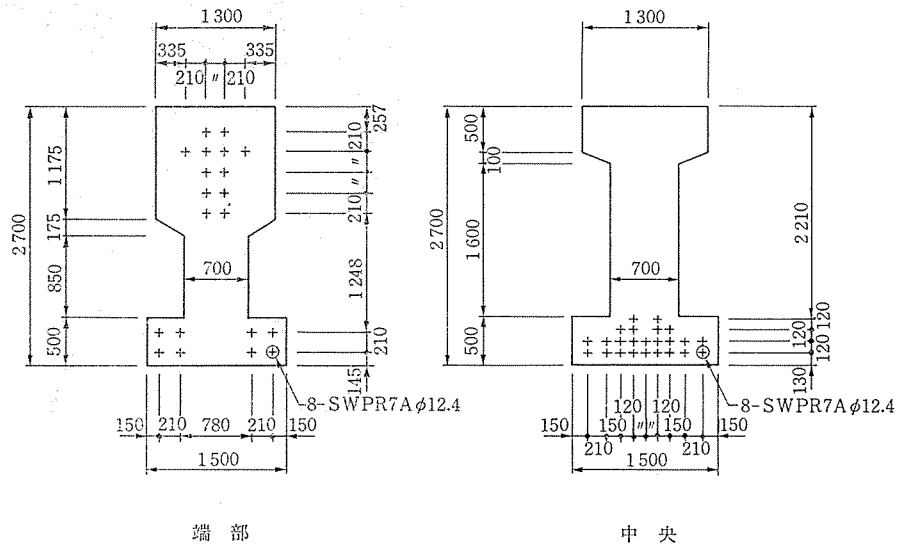


図-6 RPG 1 断面図

山形架構の応力軽減をはかった結果、合掌 RB 3、柱とも、02 通り架構の合掌 RB 2 と柱と同寸法の断面で部材設計が可能となった。しかし、それでもなお、本架構の曲げ、せん断応力は 02 通り山形架構のそれよりも大なるため、合掌 RB 3 と柱は PC 構造とした。

3.6 妻側山形架構

妻側 02 通り、10 通りの山形架構は棟梁の支点反力、すなわち、屋根荷重の大半を支持するわけであるから、本構造体のうち、最も重要な架構である。

山形架構の頂点に作用する棟梁の支点反力は合掌とタイビームで構成される三角形のトラス構面処理され、タイビームに作用する引張力を打ち消すよう、タイビームに緊張力を導入することにより、合掌と柱の曲げ、せん断応力を大幅に軽減できた。

向拝部分の 01 通り山形架構については、屋根の規模も比較的小さく、その結果、応力も少なるため、合掌 RB1、柱ともに RC 造とした。

大広間の 02 通り、10 通り山形架構については、棟梁 RPG 1 と一体施工した場合、棟梁の回転変形が拘束されるため、合掌 RB 2 に極めて大きな振りモーメントが生じる。その値は通常行われるせん断補強では処理しきれないほどである。

そこで、本例では、RPG 1 の 02 通り、10 通り端部に、図-4 に示すような切欠き部を設け、屋根版架設中は接合部の境界条件を可能な限りピンに近い状態に保持するように努めた。しかし、合掌 RB 2 には、RPG 1 の切欠き部目地コンクリート打設、および、残りの 8 ケーブルに緊張完了後作用する屋根荷重により振りモーメントが作用する。これに対して、図-7 に示すとおり、RB 2 の部材断面において、垂直方向、および、水平方向に配置された PC 鋼棒に緊張力を導入し、せん断補強

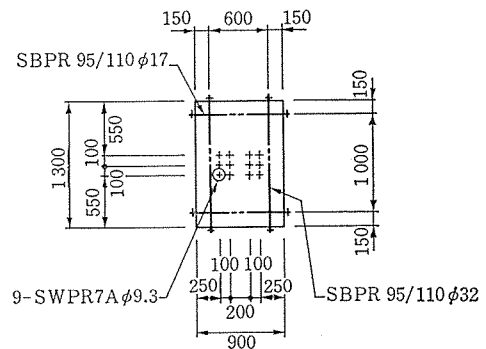


図-7 RB 2 断面図

を行っている。

3.7 屋根 CH 版

屋根 CH 版にはチャンネル形断面形が採用され、1 ユニットの幅は 92 cm に統一されている。なお、CH 版のせいは底の先端、および、棟梁との接合端部で 40cm、桁梁 RPG 4、RPG 2 との接合部で 45 cm である。

屋根版の架設、接合方法を大広間の屋根について説明する。

まず、屋根版を工場にて、底部分と建物内部の部分の 2 種類のブロックを製作する。工場では建物内部 (A-C 間) のブロックにプレテンション方式で緊張力を導入しておく。これを現場へ搬入し、図-8 に示すように架設する。底の先端より PC ストランドに緊張力を導入して屋根版を桁梁 RPG 2 に圧着接合し、その後、棟梁 RPG 1 と屋根版とも、PC 鋼棒に緊張力を導入することにより圧着接合する。その結果、屋根構造全体を一体化し、水平荷重時や積雪時の片荷重等による屋根全体のランダムな変形に対応し得るものとした。

なお、屋根 CH 版相互間には、ダイアゴナル筋を溶接接合するとともに、目地に無収縮モルタルを充填し、

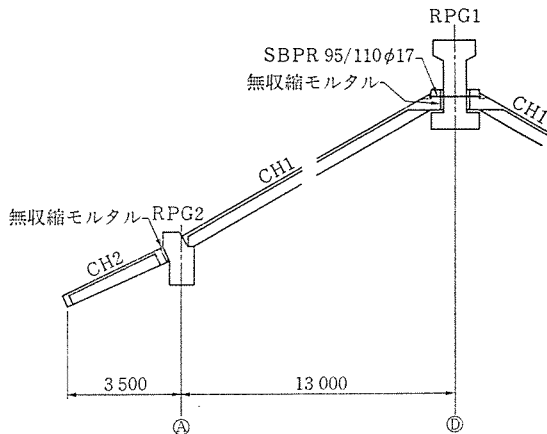


図-8 屋根 CH 版断面図

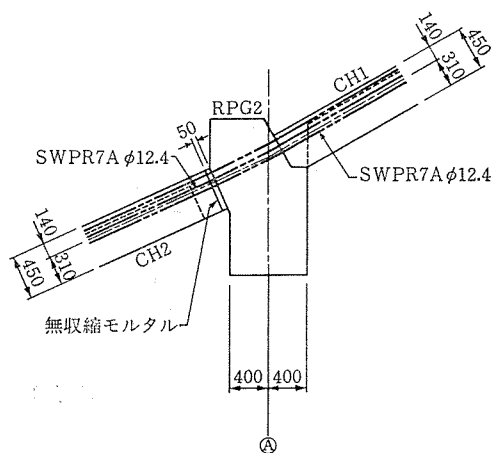


図-9 ①部詳細

面内剛性を高めている。

4. 施 工

本工事は地下工事、および地上躯体工事から成るが、地下工事については、特に、在来工法と異なった所が見られないので、今回は地上部 PC 工事を主に報告する。

本工事は現場打ち一体式の PC 構造の骨組に工場製作の CH 版を架設したものであり、施工的にみて梁、柱の躯体工事と CH 版の製作、架設工事に大別できる。

4.1 躯体工事

本工事の地上部躯体は建物自身、旧来の木造建築の様式を模しているため、斜材が多く、また屋根スラブをプレキャスト化しているのでスラブ無しの主架構のみの構造になっているのが特徴である。

このため一般の構造物に比べて型枠の水平剛性が低く、またコンクリート打設時に山形架構にスラストが作用するので支保工はこの点に、特に留意して剛強に計画された(写真-2 参照)。

コンクリートの打設にあたっては、打継ぎ位置の選択が難しく、種々検討を重ねた結果、一気に連続打設を行

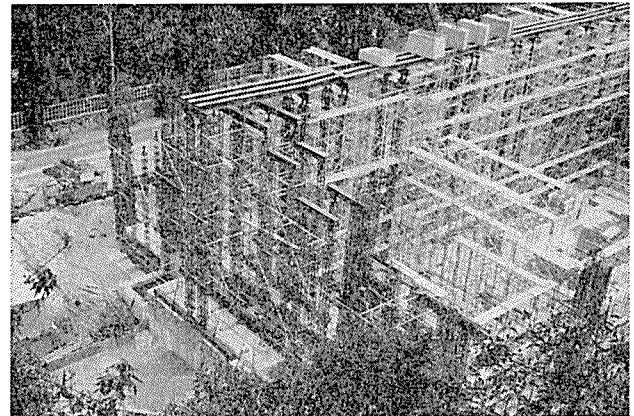


写真-2 棟梁と山形架構の支保工組立て

うことに決定した。斜面が多く、作業のしにくい条件であり、また、打設量も約 700 m³ に達するので、計画どおり 1 日で完了するか懸念されたが、周到な計画と準備により、約 18 時間で打設を完了した。

さらに本建物が意匠上各部材の納まり等の都合上、特に高い寸法精度を要求されたため、柱、梁、および PC 鋼材に至るまで正確な寸法、位置を確保するため、タイバーやブレース等による補強を行った。

PC 工事には表-1 に示すように、用途別に多種類の PC ストランドと PC 鋼棒が使用された。

表-1 使用鋼材

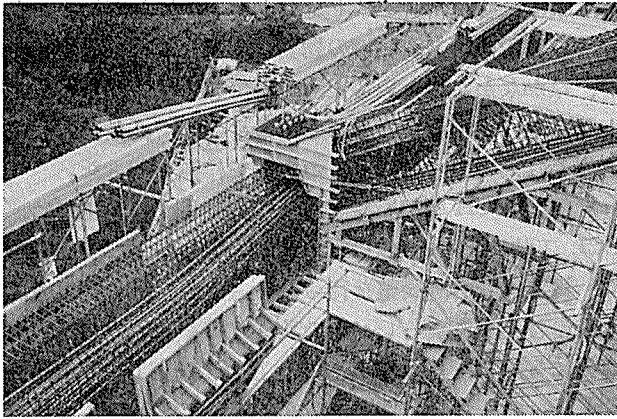
名 称	梁 符 号	使 用 鋼 材	備 考	
本 殿	棟 梁	RPG 1	8-SWPR 7 A φ 12.4	
	側 梁	RPG 2	9-SWPR 7 A φ 9.3	
	合 掌 梁	RB 2	9-SWPR 7 A φ 9.3	
	〃	RB 2	SBPR 95/110 φ 17, φ 23, φ 32	
	〃	RB 3	9-SWPR 7 A φ 9.3	
	タイビーム	TB 1, TB 2	9-SWPR 7 A φ 9.3	
向 拝	柱	C 4	SBPR 95/110 φ 32	
	棟 梁	RPG 4	9-SWPR 7 A φ 9.3	
	側 梁	RPG 5	9-SWPR 7 A φ 9.3	
CH 版取付け用	タイビーム	TB 3	SPBR 95/110 φ 26	
		RPG 1	SEPR 95/110 φ 17	
		RPG 5	SBPR 95/110 φ 17	
		C1, C3, C4	SWPR 7 A φ 12.4, φ 15.2	

シースにはスパイラルシースを用い、シースの組立てに際しては平鋼に孔を明けたものに棚筋を通し、それにシースを固定する通常の方法を採用した。柱、梁の交差部、たとえば合掌尻では合掌、桁梁、タイビーム(または柱)、および底部分 CH 版取付け用 CCL の 4 種類の PC 鋼材が立体的に交差し、それらが鉄筋と合わせて複雑にからみ合っていたので、PC 鋼材の位置決定には詳細な検討が繰り返された(写真-3 参照)。

その結果、棟梁と桁梁の CH 版取付け用のシースの位置については、慎重にシースの配置を行ったため、約 1 200 か所もあったにもかかわらず、1 か所でシースの

表一2 緊張力導入順序

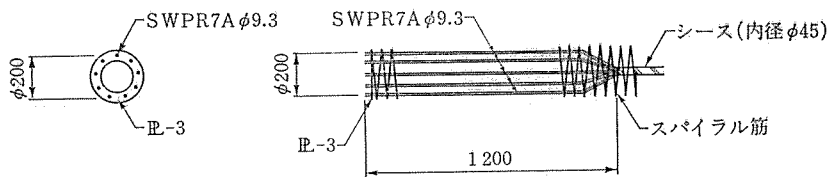
順 序	
1	TB 1, TB 2, RPG 2, RPG 4, RPG 5, TB 3
2	RB 2 およびせん断補強用鋼棒
3	RPG 1 (1次 16 ケーブル)
4	1次架設 (32 枚) 後 RPG 1 縦締め鋼棒
5	RPG 1 (2次 4 ケーブル)
6	2次架設 (16 枚) 後 RPG 1 (3次 4 ケーブル)
7	3次架設 (18 枚) およびその他の版架設, C4
8	RB 3
9	RPG 3
10	CH 版の圧着



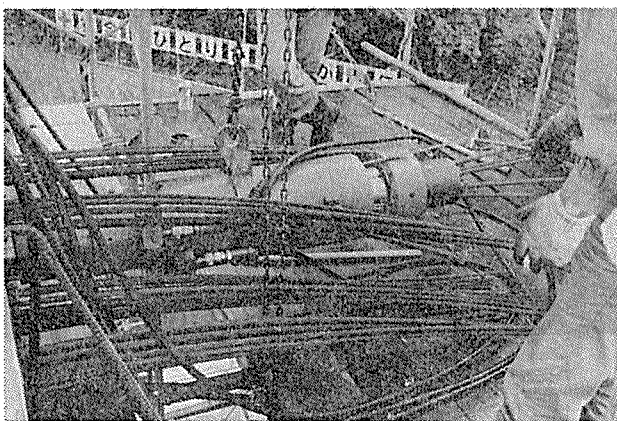
写真一3 合掌尻の配線状況

脱落が見られただけで、そのずれは充分許容範囲内に納まり、何ら工事に支障はなかった。

PC ストランドのシーす内への挿入に際しては、合掌以内の梁については、人力で行ったが、合掌には 30° という急勾配がついているため、ウインチを使用した。また、PC ストランドの埋殺し定着部分においては、PC ストランドとコンクリートとの付着効果を高めるために、図一10 に示すようなドーナツ形鉄板に孔を開けたものを使用した。



図一10 PC ストランド定着部



写真一4 合掌梁の緊張力導入

PC ストランドの緊張には、写真一4 に示す OBC ジャッキを使用し、油圧ポンプのマノメーターの読みと PC ストランドの伸び量とから緊張力の管理を行った。PC 鋼棒の緊張力管理についても、PC ストランドの場合と同じ方法を採用した。

各部材への緊張力導入は 表一2 に示す順序で実施し

た。棟梁 RPG1 については、特に、施工時応力を考慮して3段階に分けて緊張力導入を行った。各部材への緊張力導入に際しては、スラブが付いていないので、緊張力が偏心しないよう特に注意した。また1体の梁の緊張力導入完了後、ジャッキ、ポンプ類の移動に際しては、スラブが無いこと、PC 梁の間隔が広いこと、予想以上の時間を費やした。

グラウトに関しては、PC ストランド等、1本あたりグラウト量の多いものについては電動グラウトポンプを使用し、CH 版取付け用や合掌のせん断補強用の PC 鋼棒等、1本あたりのグラウト量が少ないものについては、

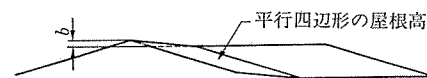
手動式グラウトポンプを使用した。また、合掌については、梁自体に急勾配がついているため、頂上部でのグラウト充填には細心の注意をはらって実施した。

4.2 CH 版架設工事

屋根 CH 版の製作は、オリエンタルコンクリート (株) 岡山工場にてプレテンション方式により行った。

製作上、一般のプレテンション部材と異なる点は、

- 1) 版形が平行四辺形であること。



平面図 ㊸

平面図 ㊹

* 梁に h という高さ変化がついたため、屋根面は平行四辺形となり、一般の段を架設した場合は㊸ようになる。これでは、CH 版を RPG1 に鋼棒で取付けが不可能に近いので㊹のように CH 版を変形させることにした。

図一11

報 告

2) 庇 CH 版圧着用の PC ストランドがアンカーされていること。

の2点である。

1) については、意匠上、図-11 のように棟梁と桁梁におがみがつけてあるためであり、2) については、プレテン用の全 PC ストランドのうち、2本が庇圧着用に使用され、4本があらたに庇圧着用に埋設し定着されるためである。プレテン用 PC 鋼材をポストテンション方式により再緊張する工法は極めて珍しい工法と思われる。

CH 版の架設にあたっては、骨組に対して片荷とならないよう、油圧トラッククレーン 35 ton 吊りと 40 ton 吊りの2基を使用し、棟梁をはさんで両側からほぼ同時に架設を行った。屋根部分の CH 版の架設は庇部分 CH 版圧着用の PC ストランドを桁梁 RPG4 と RPG2 に通す作業があったため、当初予想したほどにははかどらなかつた。

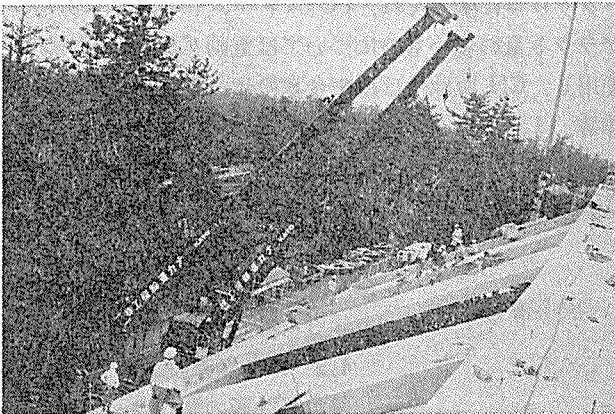


写真-5 屋根 CH 版の架設

庇部分 CH 版については、軒先での高さの調整のほか、CH 版が斜めにのる関係上、支保工には、鉛直方向の荷重以外に、水平方向の荷重も考慮しなければならないため、図-12 に示す方法で補強を行った。

CH 版架設工事のうち、施工上一番の問題点は庇の

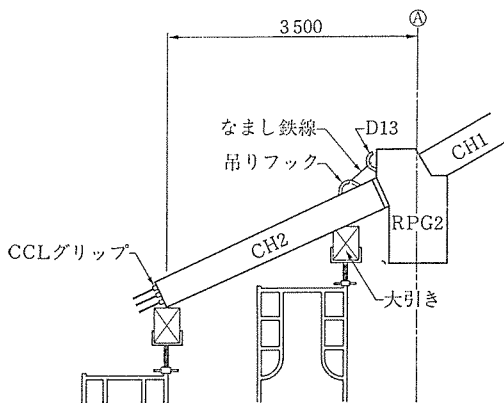


図-12 庇部分 CH 版の補強

CH 版に圧着用の PC ストランドをいかにして通すかということであった。種々の器具を考案して使用してみたが、なかなかこれといったものができず、結局は PC ストランドの先端を丸めることが最も手軽で、最良の方法と思われたので、以後、この方法で作業を行った。

屋根部分 CH 版架設完了後、庇部分 CH 版の圧着は、CCL 工法により行われた。庇 CH 版の先端は、架設時に、慎重にレベル調整を行ってあったが、なお緊張力導入時のむくりによるレベルの乱れを防ぐ目的で、緊張力導入に先立ち、CH 版の先端を互いに溶接し、桁梁と CH 版との圧着面の目地モルタルとして電化タスコンを使用して慎重に施工したため、緊張力導入後、庇先端でのレベルの乱れはほとんど見られなかつた(写真-6, 写真-7 参照)。

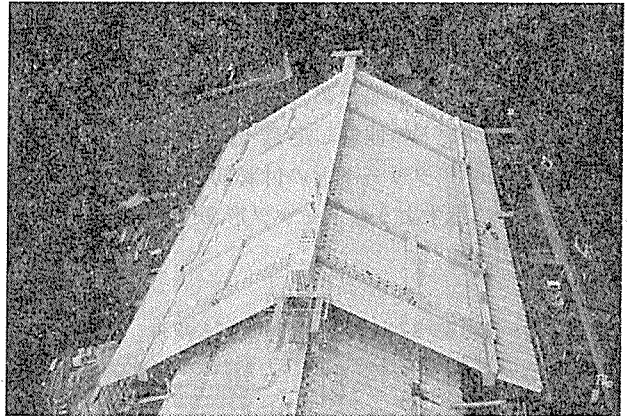


写真-6 CH 版架設完了 (屋根面)

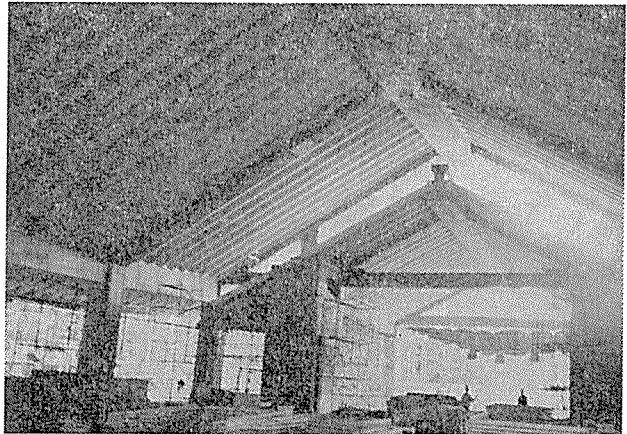


写真-7 CH 版架設完了 (天井面)

なお、PC 版架設工事の工程は図-13 に示すとおりで、難工事ながら約1か月で完了した。

		7月	8月	9月	延日数
緊張	PC梁		—	—	24日
	RPG1		(1次)	(2次)	
	CH版			(3次)	
架設	向		—	—	31日
	押本		—	—	

図-13 PC 版架設工程

5. おわりに

以上、出雲大社新神楽殿御造営工事の設計、および施工について概要を説明したが、出雲大社特立100年みかえし事業の一端に参画し、また、無事に工事を完了できたことは、誠に幸甚にたえない次第であります。

現在、新神楽殿は伝統的諸工事を行う場としてのほかに、地元の人々のみならず、広く全国の善男善女の集い

の場として活用され、喜ばれている。

最後に、本工事の設計・施工にあたり、終始、幾多の御教示とお力添えを賜った出雲大社管長千家達彦氏、技術指導を頂いた京都大学福山敏男名誉教授、京都大学六車熙教授、ならびに多大の御協力を頂いた(株)馬庭建築設計事務所馬庭稔氏ほか各位に深甚なる謝意を表する次第である。

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート世界の動向と 新道路橋示方書による設計計算例

本書は第7回技術講習会のためのテキストです。その内容は、前半は世界におけるPCの動向として、諸外国の特殊なPC橋施工例 Alm 橋ほか数橋と LNG タンクについて、また建築構造物については最近世界的に関心の高まってきたアンボンド PC 工法をとりあげ、その理論と利用法について詳しく説明されている。後半には新しいコンクリート道路橋示方書に基づいた設計計算例として、静定構造物についてはポストテンション単純Tげた橋について、また不静定構造物については連続げた橋について詳細折込付図を添付し詳述されている。実務者には必携の図書としてお勧めいたします。希望者は代金を添えプレストレストコンクリート技術協会にお申し込みください。

体 裁：A4判

定 価：3,000円 送 料：450円

内 容：プレストレストコンクリート世界の動向——(A)土木構造物——Alm 橋, Ruck-A-Chucky 橋, Columbia 斜張橋, Brotonne 橋, Carpinto 橋, Fos-sur-Mer, Montori-en-Bretagne の各 LNG タンクほか, (B) 建築構造物——アンボンド PC 工法の発達の歴史, アンボンド PC 鋼材と防せい材, アンボンド PC 部材の曲げひびわれおよび曲げ破壊耐力, 曲げひびわれおよびたわみ特性と普通鉄筋の必要性, アンボンド PC 部材の曲げ疲労耐力, フラットスラブ構造, III種アンボンド PRC 構造, 新コンクリート道路橋示方書による設計計算例, (C) 静定構造物設計計算例——設計計算の対象, 材料強度・許容応力度等, 曲げモーメントが作用する部材としての設計, せん断力が作用する部材としての設計, (D) 不静定構造物設計計算例——不静定構造物の断面力の算定, 設計条件, 各部の設計ほか, 折込付図4枚