

設計編

設計諸元

項目		諸元
橋梁形式	3径間2ヒンジ補剛桁吊橋	
ケーブル支間長	255+750+170m	
補剛桁支間長	241+742+158m	
桁下高	NHHL+40m (TP+42.2m)	
設計荷重	活荷重	B活荷重および群集荷重
	基本風速	37m/s
	地震の影響	安芸灘大橋耐震設計要領(案)による。
下部工	主塔基礎形式	2P主塔 直接基礎 3P主塔 場所打ち杭基礎(φ2.0m, n=14本)
	アンカレイジ形式	重力式アンカレイジ
主塔	主塔形式	上層2層ラーメン形式
	塔柱断面寸法	橋軸直角方向3.3×橋軸方向3.5~4.5m
	一般部断面構成	28~36mm (SM490Y)
	塔頂最大反力	2P: 6877t/塔柱 3P: 7840t/塔柱
ケーブル	サグ	74.0m (サグ比1/10)
	中心間隔	16.0m
	架設工法	PS工法
	ストランド数	1A~3P: 52本 3P~4A: 54本(エキストラストランド2本)
ハンガーロープ	PWS(φ5.00mm×91~241素線)1本ハンガー	
補剛桁	断面寸法	扁平六角形2室箱桁 総幅19m, 桁高2.5m (外ウェブ間隔16m, フェアリング1.5m×2)
	標準断面構成	鋼床板12mm, 下フランジ・腹板10mm(SM400A)
	変形	鉛直たわみ 常時+3.45m(下方向)~-2.37m(上方向) 水平たわみ 暴風時6.27m
	変形	鉛直たわみ 常時+3.45m(下方向)~-2.37m(上方向) 水平たわみ 暴風時6.27m

主要数量

上部工		鋼重(t)	掘削量(m³)		コンクリート(m³)	
2P主塔	3P主塔	1,700	1Aアンカレイジ	75,000	33,400	
ケーブル	補剛桁	3,500	2P主塔基礎	38,000	5,000	
補剛桁	合計	8,800	3P主塔基礎	2,400	2,900	
合計		15,700	4Aアンカレイジ	85,000	23,000	
			合計	200,400	64,300	

自然条件

安芸灘大橋の架かる海峡は、川尻側沖合い約200mにある無人島(女猫島)をはさんで幅約1km、猫瀬戸と呼ばれています。海峡の最大水深は約90mで、反転流や渦が発生する潮の流れは最大5ノットに達します。ここは、古くからの好漁場であるとともに、1日約400隻の船舶が航行する海上交通の要衝となっています。

地質は、川尻側が花崗岩類を主体とし、下蒲刈島側が中・古生代の粘板岩と石灰岩で構成されています。3P付近に変質帯や小さな空洞があるものの、全体としては比較的良好的な岩質となっています。

これらのことから、陸上施工を基本とし、アンカレイジの規模や掘削量の低減などを考慮して基礎位置(支間割)を決定しています。

主ケーブル断面構成

項目	単位	1A~3P間	3P~4A間	
断面構成	st/ケーブル	PWS-127×52	PWS-127×54	
ケーブル素線径	mm	5.11	5.11	
素線数	本/ケーブル	6604	6858	
最小引張強さ	kg/mm²	160	160	
許容引張応力度	kg/mm²	64(安全率2.5)	64(安全率2.5)	
主ケーブル断面積	cm²/ケーブル	1354	1406	
許容引張力	t/ケーブル	8668	9001	
最大張力	t/ケーブル	8310	8774	
主ケーブル径(空隙率)	一般部	mm(%)	464(20)	473(20)
	バンド部	mm(%)	459(18)	467(18)

設計概要(主な特徴)

スレンダーな吊橋

2車線道路であるため、桁幅が19mと狭く、中央支間長750mとの比が約1/40になるなど、全体的に非常にスレンダーで可撓性の高い構造となっています。このため、耐風安定性の確保が最も重要な課題となりました。

側径間長の短い吊橋

安芸灘大橋は、中央径間長が750mと長大橋であるのに対して、側径間長の短い吊橋です。特に3P-4A間は170mと短く、主ケーブルの勾配が急となるためケーブル張力が大きくなります。このため、3P-4A間にはエキストラストランドを2本配置して54ストランドとするとともに、中央径間との張力差により生ずる塔頂でのストランドの滑り防止を図っています。

船舶レーダーおよび景観への配慮

船舶レーダーおよび景観への配慮から、アンカレイジ外壁には多段斜面のテクスチャーを配しています。また、主塔はスマートなラーメン形式とし、水平材の隅角部や塔頂には曲率を持たせて柔らかなフォルムを演出しています。さらに、景観面に配慮するとともに設計の合理化や維持管理の省力化を図り、塔柱ブロック間の全ての継ぎ手には現場溶接構造を採用しています。

維持管理の軽減

橋桁は、トラス形式に比べて維持管理や景観面などで有利な箱桁形式を採用し、その桁高は点検作業などを考慮して2.5mとしています。

また、ケーブルハンガーに、メンテナンスフリーを目標としたポリエチレン被覆の平行線ワイヤーを採用するなど、維持管理の軽減に努めています。

耐風設計

耐風安定性を確認するために、3年間の現地風の観測結果と周辺観測所の記録をもとに、100年の再現期待値から基本風速を $V_{10}=37\text{m/s}$ (桁位置で 46m/s に相当)とし、数多くの風洞試験を行っています。

風洞試験から、補剛桁については、側面にフェアリングを取り付けた耐風性の良好な断面を選定し、さらに、高欄形状や検査車レールの間隔などを工夫することにより、風速 64m/s に対しても発散振動が生じないことなどを確認しています。また、主塔については、塔柱外側のコーナー部を三角形に隅切りした断面形状を選定するとともに、塔面外たわみとねじれの渦励振を制御する計4台の制振装置を主塔内部に配置しています。さらに、固有振動特性の検証など耐風安定性の最終確認を行うために、完成状態での実橋振動実験を行っています。特にガスト応答(動的風荷重)を確認するために実施した水平曲げの実験は、長大吊橋として過去にほとんど例がなく、吊橋の耐風設計における貴重なデータになると考えられます。

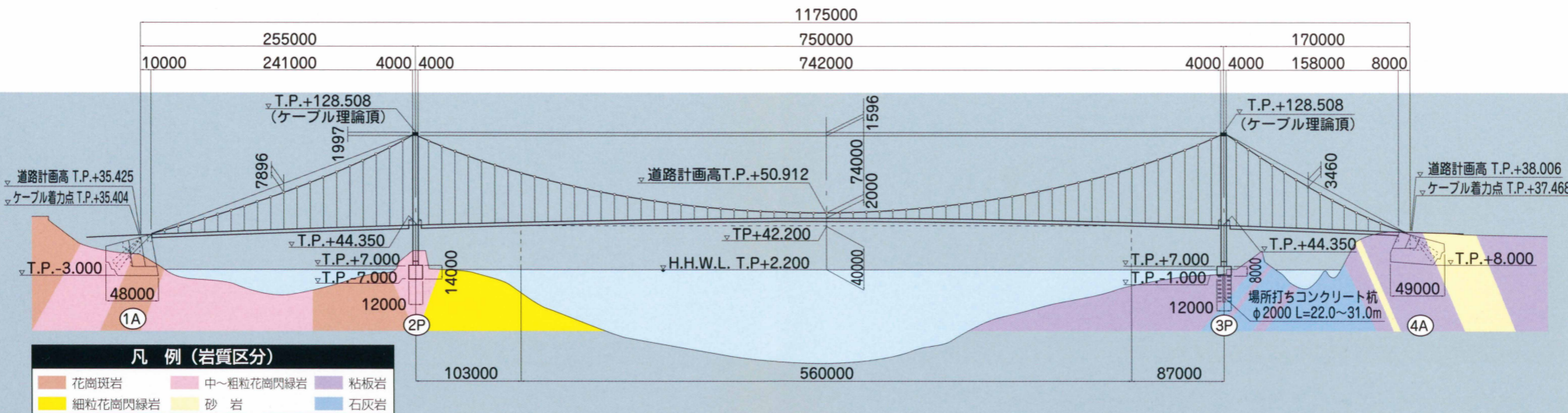
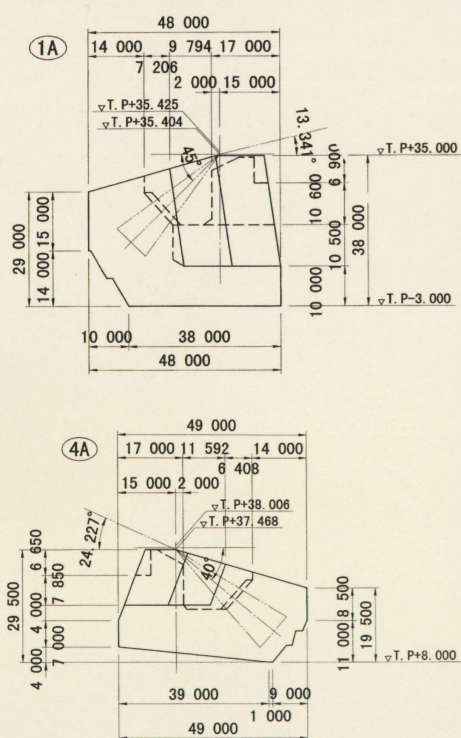


吊橋全体系3次元弾性模型試験

耐震設計

架橋地点から半径300km以内の日向灘や南海沖で発生が予想されるマグニチュードM=8前後の海洋型大地震や芸予地方で過去に発生したM=7前後の近距離地震を想定し、再現期待値を125年にして設定した加速度応答スペクトル(構造減衰5%で最大690Gal)を基本的な地震力として設計しています。

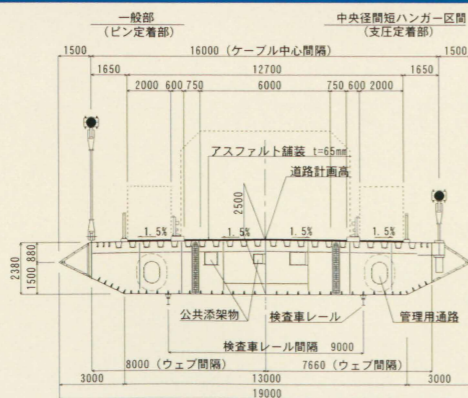
アンカレイジ構造図



凡例(岩質区分)

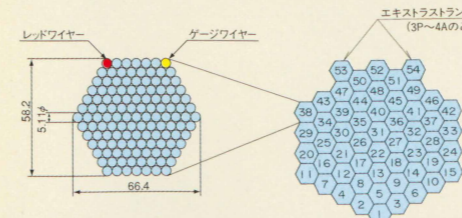
花崗斑岩	中~粗粒花崗閃緑岩	粘板岩
細粒花崗閃緑岩	砂岩	石灰岩

補剛桁断面図

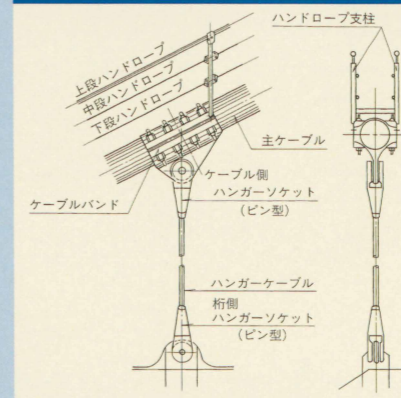


ケーブルストランド

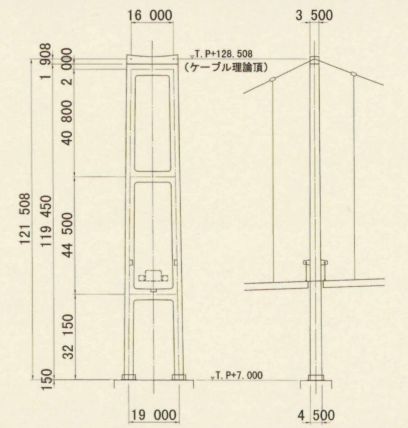
1本のストランドは、直径5.11mmの高張力垂鉛めっき鋼線127本を平行に束ねたもので、その両端にはアンカレイジに定着するためのソケットが取り付けられています。橋桁を支える主ケーブルは、このストランド52本を束ねたものです。各々のストランドには、ストランド長さの基準とするため正確に測長したゲージワイヤーと、ストランドがねじれずに製作・架設されているか確認するために赤色に着色したレッドワイヤーを各1本配置しています。



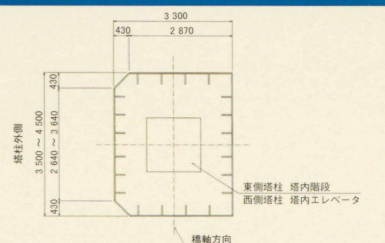
ハンガー構造図



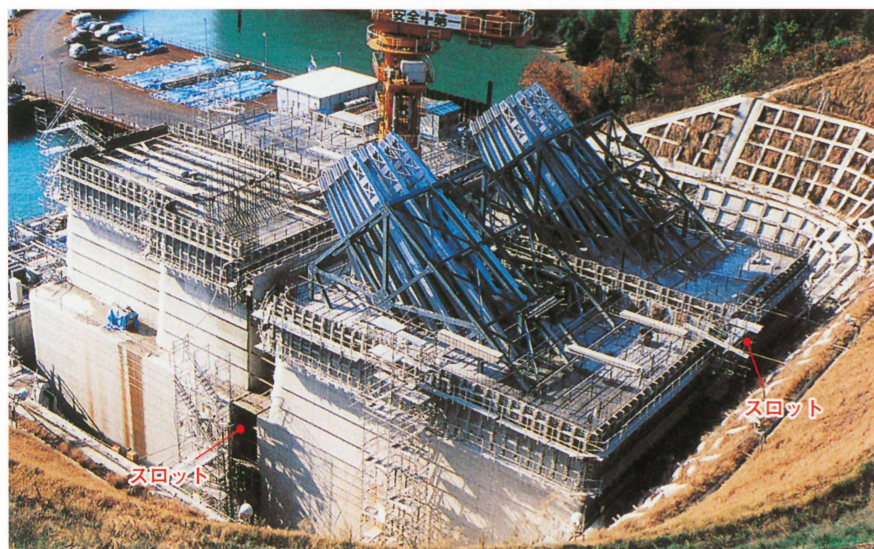
主塔構造図



塔柱断面形状



アンカレイジ



ケーブルをつなぎ止めるアンカレイジでは、自重を必要とするため多量のコンクリートを打設します。このため、水和反応に伴う発熱によるひび割れを防ぐことがより重要な課題となり、施工には次のような対策を施しました。

1. ダム用の低発熱高炉セメントを使用し、発熱量を抑える。
2. リフト高を75cmとし、さらにコンクリート中にクーリングパイプを設置して冷却水を循環させ、コンクリートの温度を管理する。
3. 躯体中央に幅2.5mのスロット（溝）を設け、全体を4つのブロックに分けて施工し、クーリングにより各ブロックが最終安定温度に達した後でスロット部のコンクリートを打設する。

主塔



主塔は、架設クレーンの能力から部材重量が最大60トン程度になるように、高さ方向に塔柱を14段に分割し、水平材も合わせると1塔当たり34個のブロックに分けて製作し、塔に隣接して立ち上げたクライミングクレーンで架設しました。
塔柱ブロック間の継ぎ手は、スマートな主塔の景観面に配慮して現場溶接構造としています。

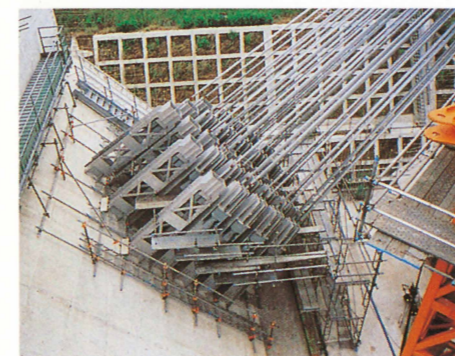
■安芸灘大橋全体工程表

年	S61	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	
調査・計画・設計	[Progress bar]											
準備工事(仮橋設置等)				[Progress bar]								
下部工事	1Aアンカレイジ					[Progress bar]						
	2P主塔基礎						[Progress bar]					
	3P主塔基礎							[Progress bar]				
	4Aアンカレイジ									[Progress bar]		
2P主塔工事	2P主塔工事						[Progress bar]					
	3P主塔工事							[Progress bar]				
ケーブル工事	ケーブル工事							[Progress bar]				
	補剛桁工事								[Progress bar]			
	上屋工事・取付橋工事								[Progress bar]			
	橋面舗装・電気設備等								[Progress bar]			
	片付工事(仮橋撤去等)								[Progress bar]			
備考												

ケーブル

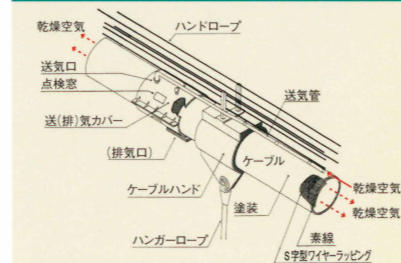


はじめにヘリコプターなどを使ってパイロットロープを張り渡し、これをもとに空中に幅3.8mのキャットウォーク（作業足場）を作ります。そして、工場で作られたストランドを1本1本張り渡し、これらを52本束ねて主ケーブルができあがります。架設したストランドは、アンカレイジ部で放射状にスプレーし、ケーブルアンカーフレームに1本ずつ定着させます。



ストランドの定着

ケーブル防食概要図



安芸灘大橋ではケーブルの防食システムとして、ケーブル被覆の遮水性の向上と内部の腐食環境の改善という、二つの要素を組み合わせた最新の方法を取り入れました。防水性と気密性に優れたS字型断面ワイヤーでラッピングを行い、さらにケーブル内に乾燥空気を送り込んで内部の水分を除去しています。

補剛桁



直下吊架設

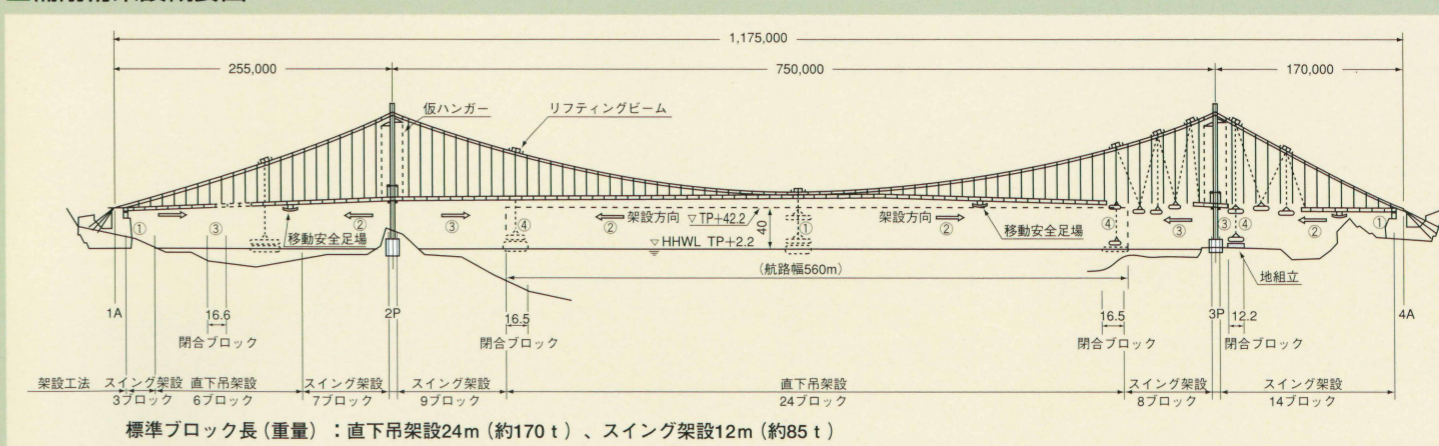
海上部の補剛桁架設には、台船で架設位置の直下に搬入した桁ブロックを主ケーブル上のリフティングビーム(LB)で吊り上げて架設する、直下吊り工法を採用しました。この際、中央径間においては定点保持が可能な自航台船を用いて、海上作業時間の短縮を図っています。



スイング架設

架設位置直下に台船が進入できない範囲は、吊り上げた桁ブロックをLBとハンガーロープで橋軸方向に水平移動させる、スイング架設を行いました。

■補剛桁架設概要図



標準ブロック長(重量)：直下吊架設24m(約170t)、スイング架設12m(約85t)