

# 港大橋の材料，溶接について

阪神高速道路公団 笹戸松二

## 1. まえがき

近年の構造物は、種々の社会的要請により大型化、巨大化の傾向にある。この傾向は、構造物の解析の高度化および鋼材の発達にともない、ますますその可能性を大きくしている。

すなわち、構造解析も平面的な取扱いより立体的な取り扱いへと進歩し、より実構造物と一致した合理的な解析が可能となってきた。

一方、立体解析による構造物の解析の高度化の背景において、電算機を利用した演算技術の進歩とともに、その解析上の仮定を満たすような立体構造が高い信頼性を有した溶接技術を活用することにより、より広い可能性をもたらしてきたと思われる。

それと同時に、橋梁の長大化の傾向においてその背景である鋼材面の進歩を見逃すことはできない。すなわち、橋梁の長大化の要請にともない、鋼材においても必然的に高強度化の要請が高まり順次、良質な高張力鋼の開発がなされ、現在では70, 80キロ鋼を大量に使用した港大橋の建設を可能に至らしめた。

港大橋は、70, 80キロ鋼を本格的に使用した長大橋梁の先兵であり、Quebec橋、Forth橋に次ぎ世界第3位のカンチレバー橋である。本橋の特徴の一つとして、——信頼性における溶接技術の利用により、70, 80キロ級高張力鋼を活用することによって、はじめて可能となった——機能、経済性だけでなく、活発な力の充実と緊張をもった部材により構成される線の調和によ

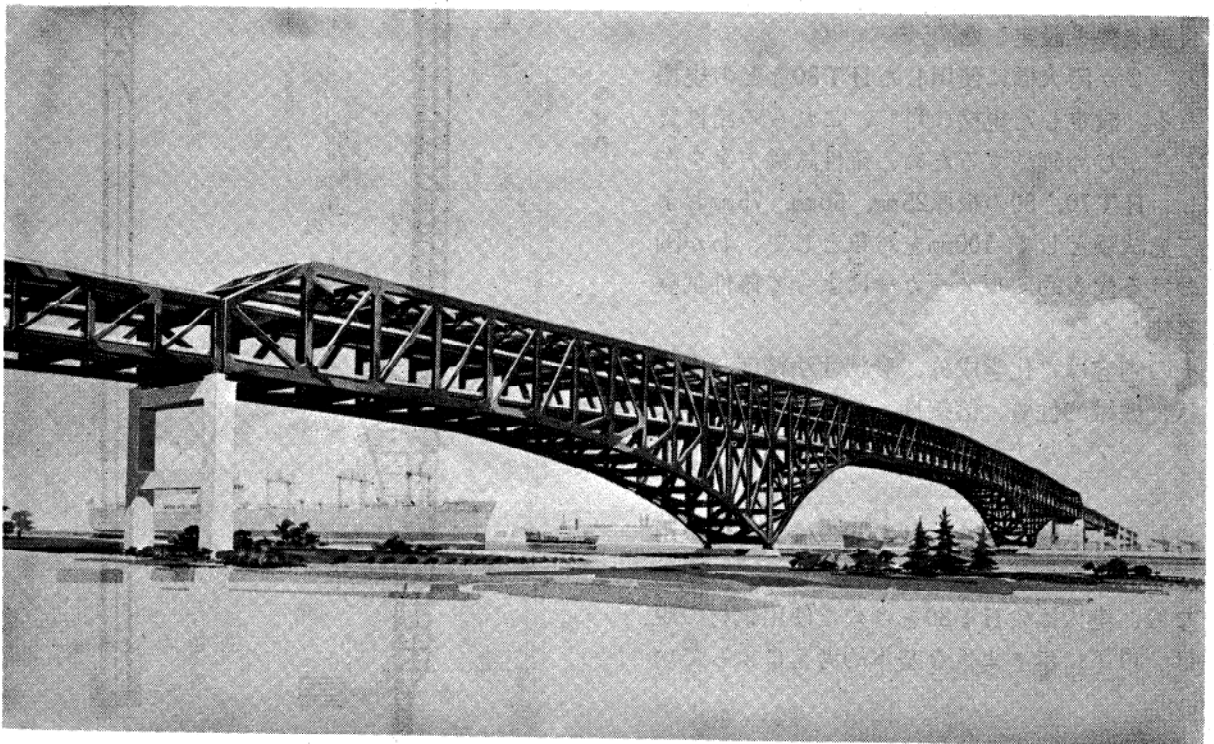


写真1 完成予想図

生産と技術

る近代美があげられよう。この点、過去のカンチレバートラス橋における斜材があまりに増長し、その斜材が水平線を圧倒し、橋梁全体としての調和を失墜させ美観をそこねていたきらいがあったが、美的にも大きな進歩がもたらされたと思われる。

図-1が港大橋の一般図であり、本橋の基本断面、鋼種およびその使用範囲を図-2に示す。

このように多量の70, 80キロ鋼（以下HT80など）を使用した港大橋の建設における材料と溶接施工における問題に簡単に触れる。

2. 港大橋の材料

港大橋に使用した鋼材の内訳は、表-1に示されるように全鋼重の約半分がSM58以上の高張力鋼である。

このうち、HT70, HT80の橋梁への適用を本格的に試みたのは、わが国においても初めてであり、あらゆる検討を行ってきた。

そして、それまで市販されていた鋼材では、問題が多いため、まず製鋼上の限界点と製作上の限界点との両面を考慮して、橋梁として具備すべき条件の要請を製鋼と製作とのバランスを考え、現状での製鋼技術の合理性に着目し、できる限り問題への解決を鋼材にゆだねることにして製鋼条件を設定した。

表-2が港大橋に使用したHT80などの規格である。設定した規格に対し、これらの諸性質をあらかじめ確認するため、確性試験方案を作成し、HT70, 80の板厚25mm, 50mm, 75mmおよび任意試験として100mmを対象として、わが国における代表的ミルメーカーによって確性試験を実施した。

その内容は、化学成分、形状寸法精度、内部性状、機械的性質、溶接性、溶接継手性能およびディープノッチ試験等の大型試験をも含めて行った。

これらの試験により、HT80の橋梁への適用は、十分安全に使用できると判明した。

なお、港大橋のHT80を含めた使用鋼材の規格は、以下に示すような基本的考えによっている。

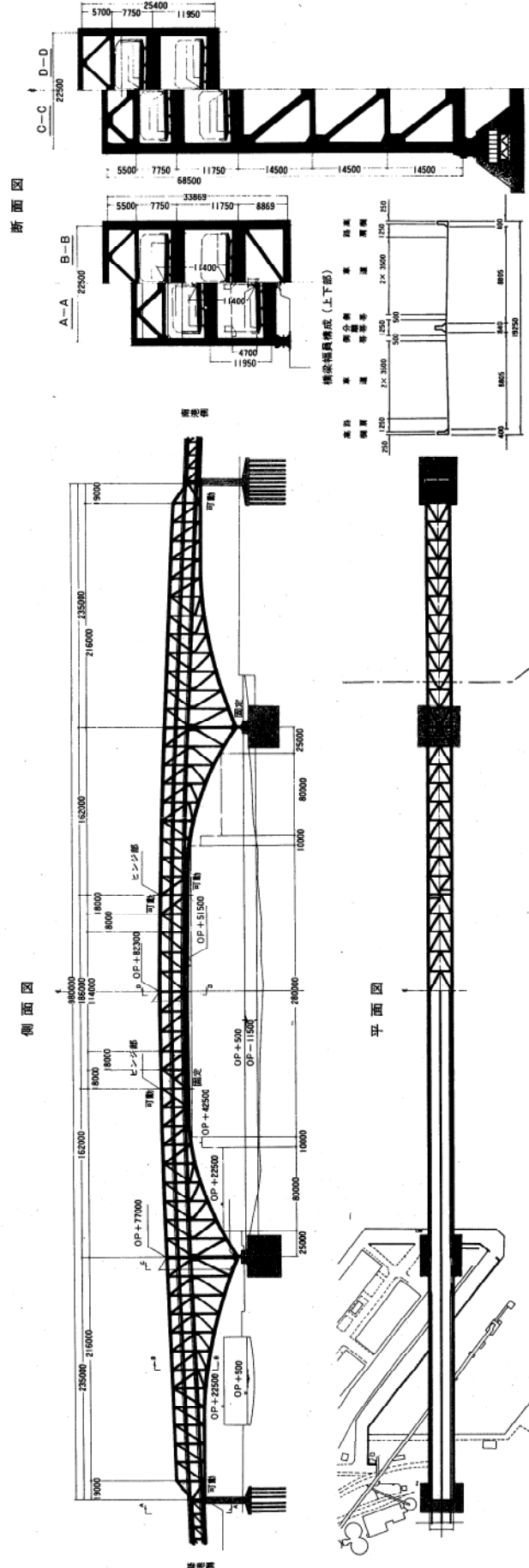




表1 概略鋼重表

単位: ton

	HT 80		HT 70	SM58	SM50	SS41	HT ボルト	その他	計
	t > 51	t ≤ 51							
定着桁	1,628	2,569	1,075	7,611	8,513	5,420	653	11	27,480
吊 桁	0	0	0	1,109	1,175	1,587	61	4	3,936
本体小計	1,628	2,569	1,075	8,720	9,688	7,007	714	15	31,416
支承部	0	0	0	31	398	94	0	1,181	1,704
	0	0	0	105	0	0	0	55	160
付属品	0	0	0	0	0	1,527	48	55	1,630
小 計	0	0	0	136	398	1,671	48	1,291	3,494
合 計	1,628	2,569	1,075	8,856	10,086	8,628	762	1,306	34,910

注1. 支承部の上段はヒンジ部、下段は支承部を示す。SM50にはSM50A、B、Cを含む  
 SS41にはSM材、SMA材および型钢を含む。HTボルトにはF11T、F10T、F8Tを含む。  
 本表は一期分のみである。付属品には高欄、伸縮継手、排水装置、管理用施設を含む。

表2 HT70, HT80の規格

適用規格	鋼種記号	適用板厚 (mm)	化 学 成 分								機 械 的 性 質			切欠きじん性	その他
			C	Si	Mn	P	S	V	B	Ceq	YP (kg/mm <sup>2</sup> )	TS (kg/mm <sup>2</sup> )	E <sub>l</sub> (%)		
橋梁(南港連絡橋)	HT70	6 ≤ t ≤ 50	0.14以下	0.55以下	1.50以下	0.030以下	0.030以下	-	-	0.49以下	63以上	70~85	6 < t ≤ 16 5号 17%以上 t > 16 5号 23%以上	vE <sub>s</sub> ≥ 4.8kg-m vT <sub>RE</sub> ≤ -35°C	
		50 < t ≤ 100	0.17以下	同上	同上	同上	同上	-	-	0.53以下	60以上	68~73	t > 20 4号 17%以上		
	HT80	6 ≤ t ≤ 50	0.14以下	同上	同上	同上	同上	-	-	0.53以下	70以上	80~95	6 < t ≤ 16 5号 16%以上 t > 16 5号 22%以上	同 上	
		50 < t ≤ 100	0.17以下	同上	同上	同上	同上	-	-	0.57以下	68以上	78~93	t > 20 4号 16%以上		

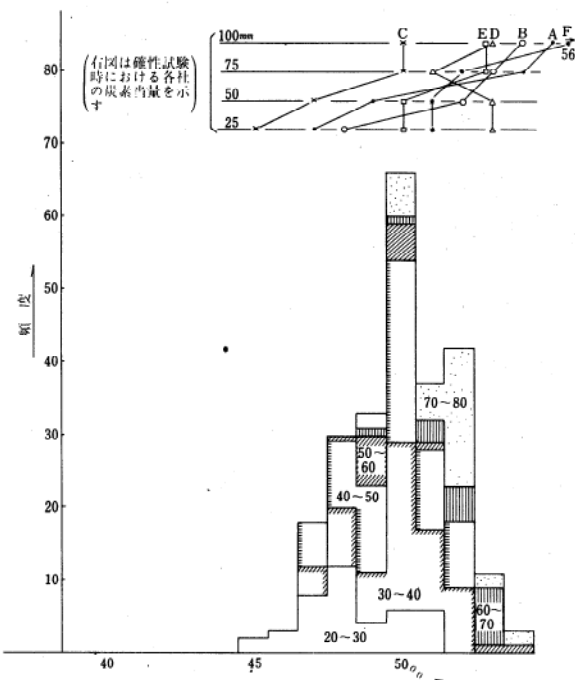


図3 HT80の炭素当量

- 1) SM50, SM58, HT70, HT80鋼を一貫した考え方でまとめ、現行の規格体系を混乱させないように、一応JIS規定は尊重する。
- 2) SM58, HT70, HT80鋼の使用板厚の上限をそれぞれ、75, 100, 100mmとし、SM50はJISのSM50C最大50mmとし、ceqの制限を設ける。
- 3) 使用湿度-15Cで脆性破壊が発生しないこと。
- 4) 上記の特性を考え、ボンド部のエネルギーまたは、破面遷移温度を0°C以下とし、これを満たすための溶接入熱条件を決定し、これらを目標とする。
- 5) 溶接予熱温度は、鋼種、板厚等により当然、異なるが、HT80の100mm板厚の施工においても150°C以下で施工し、われを生じないことを目標とする。
- 6) 設計、施工条件、構造物の拘束度、組立精度等を通常のものとして考える。

上記のような一連の考えに基づいて設定した規格に準拠して、わが国の代表的鉄鋼メーカーの協力を得て試作されたHT70, HT80の鋼材に対し、あらゆる面の解性試験を行い、その結果、橋梁用として十分な性能を有することが判明したわけである。以下簡単に規格設定の経緯を紹介する。

2-1. 化学成分

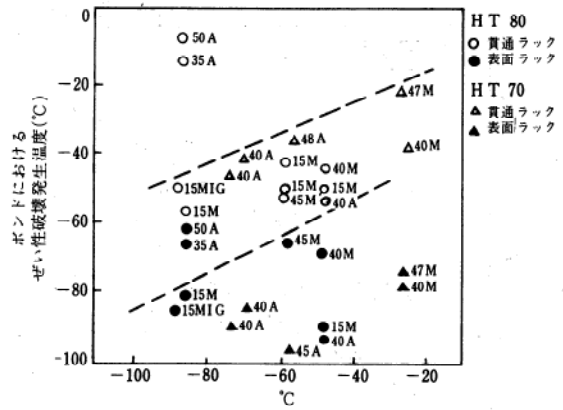
HT70, HT80の化学成分は、公表されているだけでも数十種類におよんでいて、著名なT-1鋼は、ASTM-A 514に示されるように五元素以外にV, B等を含めて詳細な規定を行っているが、本橋ではJISのSM58までに従来行われてきた表現を採用し、五元素に限定した。ceqに関しては、溶接施工上低い方が好ましいが、極厚板においては、板厚中心部で顕著に焼戻し後の特性値が劣化し、溶接継手部の軟化域の増大等の問題があり、この両面を検討して規格を設定した。

すなわち、良好な継手性能を有するためにはある程度以上(HT80, 板厚50mmでceq≥0.46)のceqを有する必要がある。一方、製作上、予熱温度は、150°Cまでが限界と考え、たとえば板厚100mmの場合でも150°C以下の予熱温度で施工しようとする鋼材を目標とした。

予熱温度の決定要因として化学成分、水素、および冷却速度と拘束度があるが、十分な溶接材料管理の実施によって、水素量を1.5cc/100gr以下を目標にし、電気予熱システムで予熱して十分な冷却速度を確保すれば、中程度の拘束度を有する(K=40t)場合、HT80の板厚50mm以下であれば100°C以下、50mmをこえる板厚でも150°C以下の予熱温度でわれを防止することが可能であるceqの上限を設定した。

2-2. 靱性

靱性については、従来の規格に比し、特に厳しい要求を行った。従来の規格値を参照して、やや高め衝撃エネルギー値を要求し、高いK<sub>1c</sub>値を期待するとともに、図-4に示されるような母材のvTrsと脆性破壊発生温度との関係に着目して、大阪地区における最低使用温度-15°Cで破壊が生じないために必要なvTrs値を規格で要求した。なお、確性試験においてvTrs値とvTre値との良好な相関性を確認し、判定上便利なvTre値を規格では使用している。



ぜい性破壊発生温度=(Ti)c=40 (入熱量50KJ/cm以下)  
+残留応力+工作ミス+板厚効果 (t=50を基準)  
(注) 上図における添字は入熱量と溶接方法を示す。  
Ex. 15M.....入熱量 15KJ/cmの手溶接  
45A..... " 45KJ/cmのサブマージーク溶接  
15MIG... " 15KJ/cmのMIG溶接

図4 ぜい性破壊発生温度 (n=2.0) と母材のvTrsの係

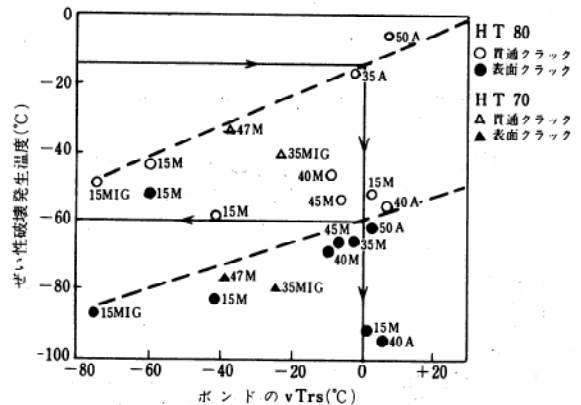


図5 ぜい性破壊発生温度 (n=2.0) とボンドのvTrsの関係

脆性破壊の発生において母材の靱性よりさらに重要な要因として溶接継手部の問題がある。すなわち、溶接による再熱処理により脆化し、構造上最弱点部となる恐れのあるボンド部の靱性は、脆性破壊発生温度とさらに強い相関を有する。そこで、本橋においてはボンド部のvTrs≤0°Cの目標を、図-5を参照して設定した。このように良好なボンド部の靱性の確保と良好な溶接性という製鋼上相反する条件を満たすために、溶接時の最大入熱量を50KJ/cm以下と規定し、この条件を規格に明示した。

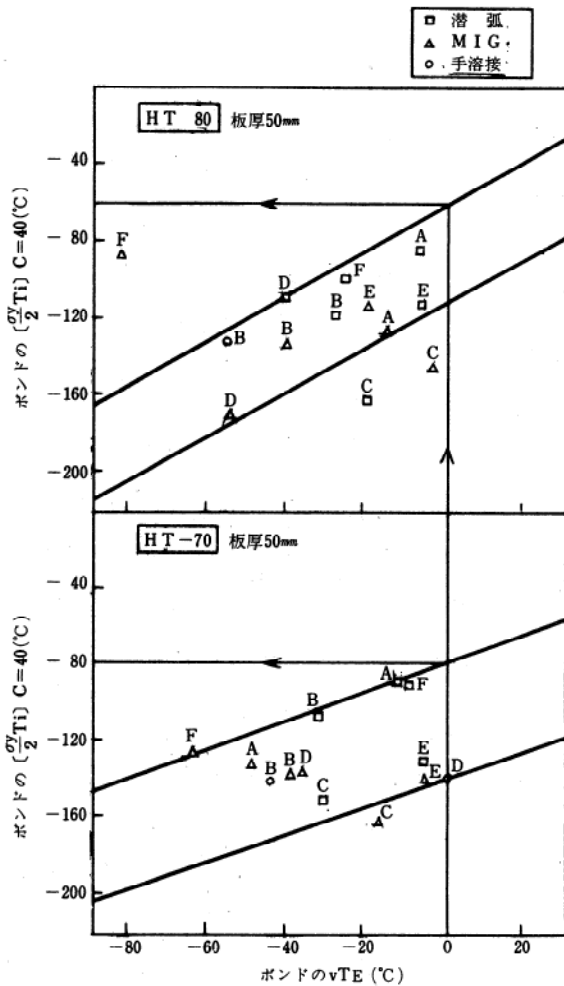


図6 ボンドの脆性破壊発生温度とボンドのvTEの関係

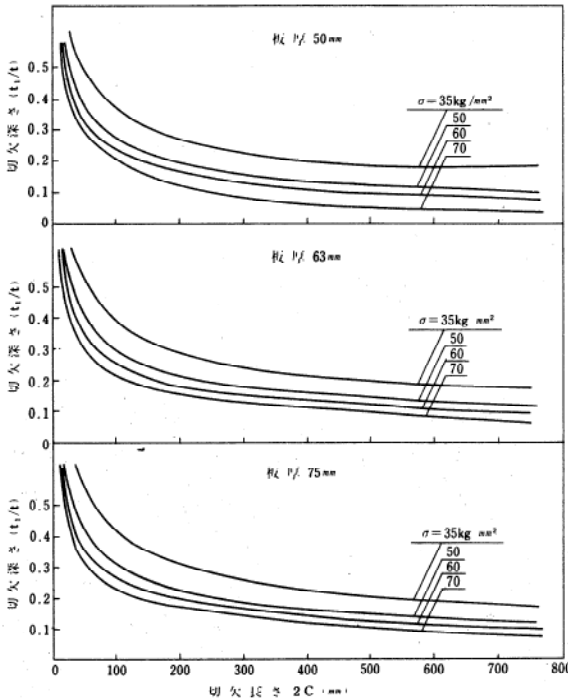


図7 最低使用温度 $-35^{\circ}\text{C}$ 、角変形 $10\text{mm}$   
 $1\text{m}$ スパン、目違い $3\text{mm}$ での許容しうる  
 切欠の長さ $\text{と}$ 深さの関係 (残留応力の高い場合)

### 2-3. 溶接継手の脆性破壊防止の確認

上記のような材料規格の設定および確性試験の結果に加え、実施工における種々の要因(角変形、目違い、残留応力およびプレス加工の影響等)と万一割れ等の欠陥がある場合、どこまで許しうるかを把握しておくことは、構造物の安全性と経済性との調和をはかるために、工學上重要である。そこで、本規格により製造されたHT80に対し、広幅試験と歪時効試験とを実施して、線形破壊力学を適用し、実施工法の確認、規格の確認、さらに許容欠陥寸法等の推定を行った。広幅試験においては、図-7に示されるような許容欠陥寸法を最終的には推定し、検査基準の定量判断資料とした。また、製作途中にプレス加工が必要であるが、この場合の溶接ボンド部、HAZあるいは、溶接金属のひずみ時効による脆化の程度を調査した。そして、製作上十分な配慮をすれば、 $2/1000$ 以下の角度形をプレス加工で矯正することによる脆化は実用上問題ないことを確認した。(図-8)

さらに、割れ等の亀裂が潜在していても、本橋の供用時に実働荷重による亀裂の生長伝播の程度が、脆性破壊に結びつかない必要がある。そのための初期欠陥寸法はいかにあるべきかの問題を応力拡大係数を用いて推定した。その結果を検査基準の参考にした。

これらの諸検討により、本橋の規格で製造されたHT70, 80は、橋梁用鋼材として十分な性能を有していることが確認され、かつ、能率良く製作可能な鋼材であることが判明した。もちろん、製作途中における管理は重要であり、そのうえで初めて信頼性のある溶接継手を得られることは言うまでもない。

### 3. 溶接施工

港大橋の実施工にあたっては、鋼材の確性試験の結果を参考にして、さらに、きめ細かい確認を行った。すなわち、溶接条件、製作精度、検査方法の確立等のため、通常の道路橋示方書に準じた施工試験のほかに、ラメラティアー試験、拘束割れ試験、小型隅角部試験、中型試験そしてパイロットメンバー試験等を実施した。

パイロットメンバーは、構造上複雑な中間支承付近の塔基部と、本橋の代表的部材である下弦材を対象とし、実物大の寸法形状により、実

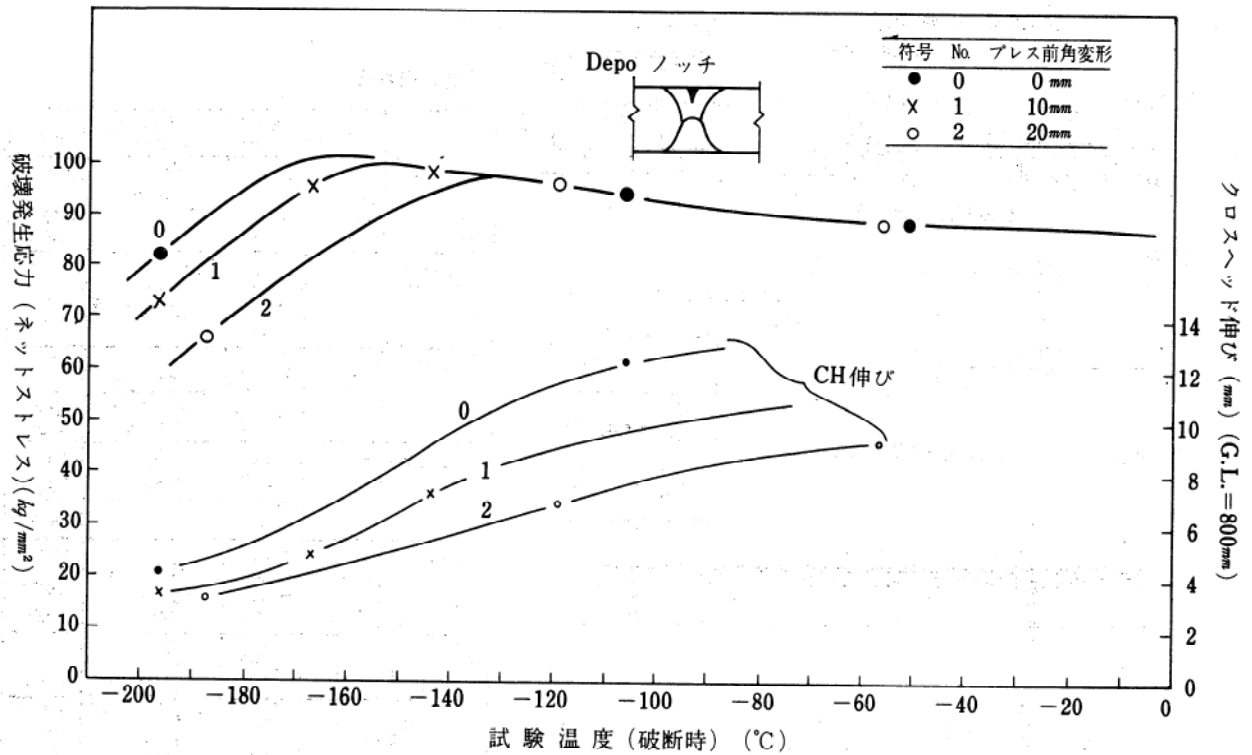


図8 広幅引張試験結果 (Depo)

施した。

これらの試験結果により、最大溶接入力熱量50 kJ/cm以下という条件のもとに、各種溶接法による最小予熱温度、パス間温度、仮付予熱温度および溶接施工条件や溶接材料の乾燥条件等を設定あるいは確認した。

溶接施工における本橋の主たる課題は、第一にHT80などの高張力鋼をいかに安全性をもたし施工をするかということと、第二にカンチレバー架設工法において要求される高い部材精度を得るために、いかに溶接変形の少ない部材を得るかの二点であった。

第一の課題に対しては、溶接における割れの防止と溶接継手ボンド部の脆化の防止の二つが

あげられ、これらに対し、いかに安定した溶接施工法を採用するかという問題である。第二の課題に対しては、溶接施工に至るまでの前工程で高い材片精度を確保することと、高い組立精度の確保および予熱、溶接における対称施工の採用をいかに能率良く行うか等であった。

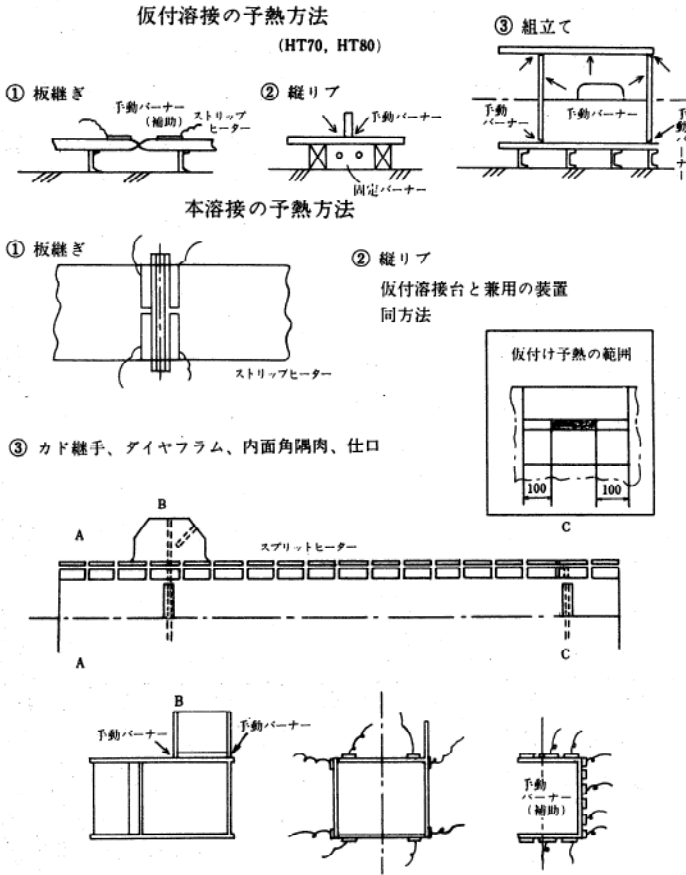
次に、予熱は、特にこの種の高張力鋼の施工にあたっては重要であり、予熱温度、予熱方法および検出方法等を詳細に検討し、確認試験を行い決定した。

本橋のように、多数部材に十分な信頼性を保持させるためには、施工後の検査のみによってその信頼性を確保するのは困難であり、また、溶接継手ボンド部の脆化等の問題は施工完了後

表3 最小予熱温度 (°C)

溶接法 鋼種 継手	本 溶 接							HT材の仮付け溶液		
	被覆アーク溶接		ガスシールドアーク溶接		被覆アーク溶接		ガスシールドアーク溶接		サブマージアーク溶接	
	SM50	SM58	HT70・HT80	HT70・HT80	HT70・HT80	HT70・HT80	HT70・HT80	HT70・HT80		
板厚 (mm)	突合せ、すみ肉、角継手		突合せ、すみ肉、角継手		突合せ、すみ肉、角継手		突合せ、すみ肉		角継手以外、角継手	
T ≤ 25	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-
25 < T ≤ 38	40	-	80	40	100	80	100	80	120	100
38 < T ≤ 50	80	40	80	60	100	80	100	80	120	100
T > 50	-	-	100	80	120	100	150	100	150	120

1. HT70、HT80材における最高予熱および層間温度は200°C (t ≤ 50mm) 230°C (t > 50mm)以下とする (AASHO'70)  
 2. ※は、溶示18条の「ガスバーナで軽くあぶる程度」に準じる。



子熱管理要領

区分	子熱方法	子熱温度 (最小)	子熱温度の測定位置	測定方法
仮付溶接	①板継ぎ	ストリップヒーター 50<t 150°C 50≧t 120°C	50 50	温度 チョーク (152°C 124°C)
	②縦リブ 取付	固定 パーナー 50<t 150°C 50≧t 120°C	50	"
	③組立て	手動 パーナー CO <sub>2</sub> 50<t 120°C 50≧t 100°C 50<t 150°C 50≧t 130°C	50 50	温度 チョーク 101°C 124°C 152°C
本溶接	①板継ぎ	ストリップヒーター 50<t 150°C 50≧t 100°C	50 50	温度 チョーク 152°C 101°C
	②縦リブ	固定 パーナー (補助として 手動パーナー) 50<t 100°C 50≧t 80°C	50	温度 チョーク 101°C 83°C
	③カド ボックス	ストリップヒーター 50<t 100°C 50≧t 80°C	20	" (P.T.C併用)
	カド 内側	ストリップヒーター 50<t 120°C 50≧t 100°C	50	温度 チョーク 124°C 101°C
	ダイヤ フラム	ストリップヒーター (補助として 手動パーナー)	"	"
	仕口	手動 パーナー	"	"

図9 予熱方法と予熱管理要領

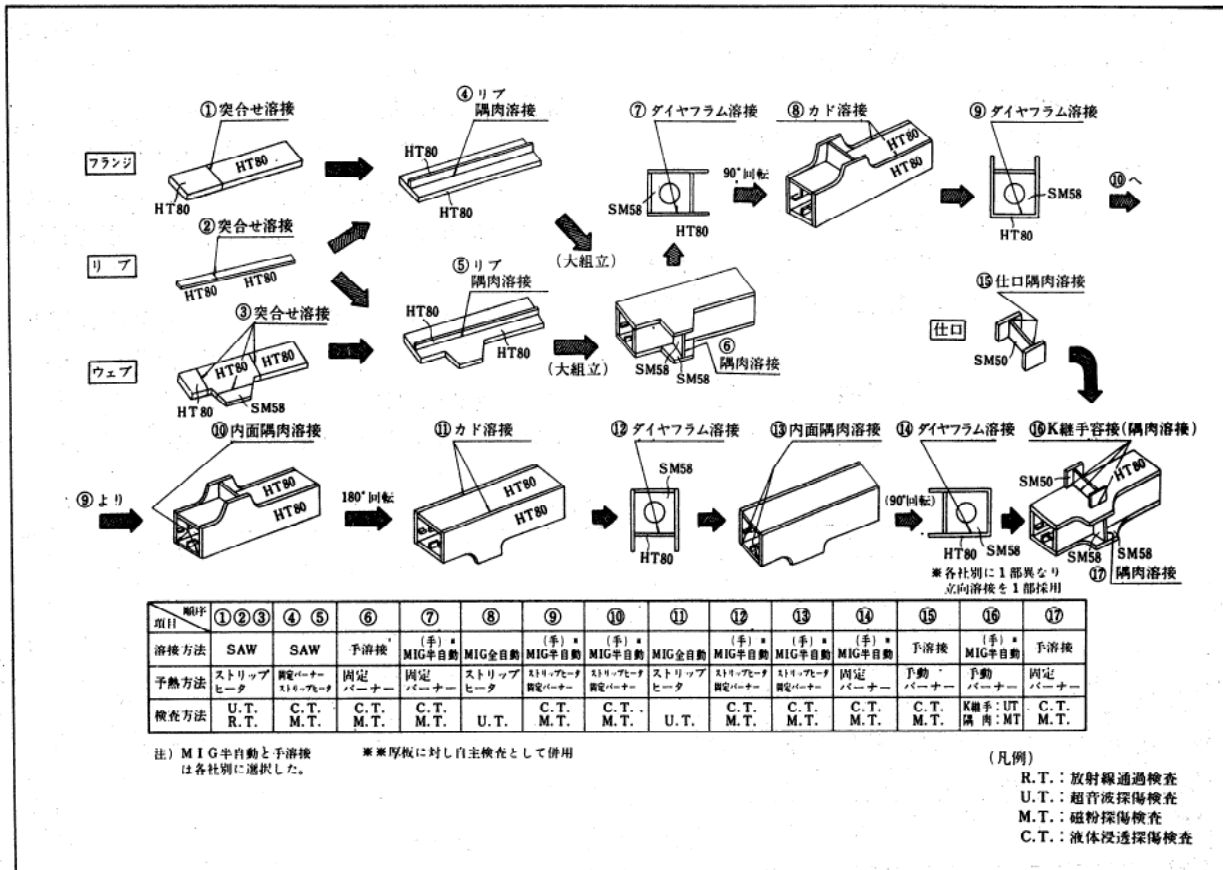


図10 港大橋の上下弦材 (HT80材) の溶接施工手順図



においては確認することは不可能である。

このような点に対し、能率よく管理するためにはどうしても施工法を規定し、それにより品質を保証するという考え方も必要となった。その一例としてSM58以上の高張力鋼の使用された弦材のグループ溶接あるいはカド溶接継手の予熱方法には原則として自動制御装置を有する電気予熱システムを採用する等の工法指定をした。

本橋で採用した最小予熱温度を表-3に、そしてHT80などの予熱方法と予熱管理要領を図-9に示す。

本橋の代表的部材である弦材の溶接施工手順図を図-10に示す。

本図に示されるようにHT80などのグループ溶接は基本的にサブマージーク溶接（以下SA溶接）を使用した。SA溶接の作業能率をそこなわないで、かつ、溶接ポンド部の脆化に対処するため最大入熱量を50KJ/cm以下とし、パス間温度を規制して施工した。（写真-2）

当初、HT80のグループ溶接に対しSA溶接の適用は横割れ等の問題も懸念されたが、溶接材料の良好な管理と選定、十分な予熱そして適切な80キロ用溶接棒強度（ $\delta_B \geq 77 \text{ kg/mm}^2$ 、耐力の規定なし）等によりこの問題も解決した。

次に、HT80などのスミ肉溶接は、60キロ級のワイヤーを使用してSA溶接で施工した。

施工試験の結果、80キロ母材にグレードを下げた溶接材料を適用する方が、この種の継手に対して良好な耐割れ性と延性および靱性確保ができ、有利であり、また、スミ肉溶接に対し60キロ級ワイヤーを使用しても、80キロ母材の影響と冷却速度等の関係より、継手強度としては80キロを確保でき、良好な性能が得られると判明したのである。（写真-3）

箱断面を形成するカド継手の溶接はHT70、80に対しては、MIG溶接を、他はSA溶接を使用した。溶接施工上、カド継手部は組立誤差、板厚公差あるいは板の平坦度等の影響だけでなく、部分溶け込み溶接であり、溶接時のアークの移行現象にからんだ問題、仮付溶接の問題（本溶接における予熱温度を20~40°C高くしたり、CO<sub>2</sub>半自動溶接による仮付施工等）さらに、溶接後の検査等を含めた種々の問題がからんでおり、多くの議論と検討がなされてきたものの一

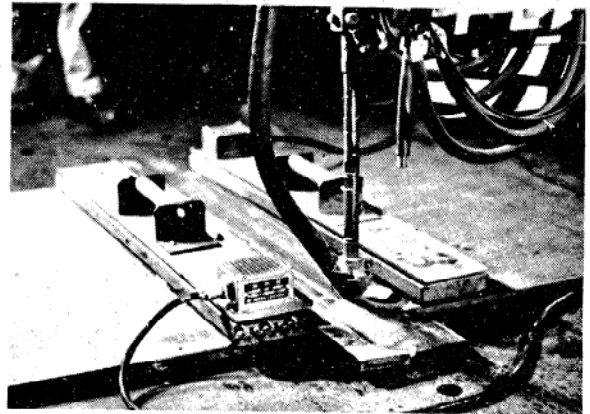


写真 2

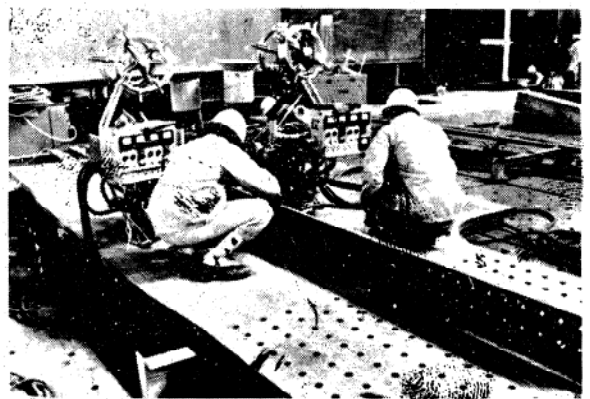


写真 3

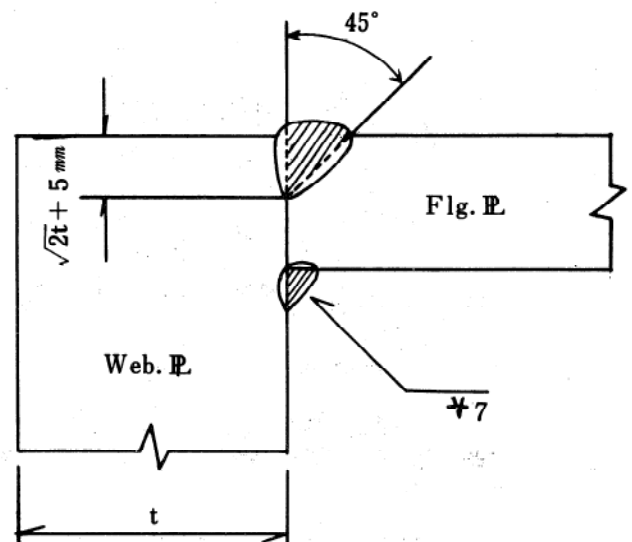


図11 カド継手形状

つであった。なお、溶接材料強度はスミ肉溶接と同じような思想で、60キロ級をHT80などに適用した。（写真-4）

カド継手の基本形状は、図-11に示される通りである。外側より45°のレ形開先をとり、裏側よりスミ肉溶接を施工した。製作上HT80な

どの予熱温度の高い悪環境下のボックス内の溶接施工をより少量にするためにレ形開先をとり、溶接のバランスおよび剪断力伝達上の問題や、さらに供用時にレ形のルート部に応力を生ずることのある場合、ルート部をより中立軸に接近させて外力による応力振幅レベルを小さくしてやり、溶接時に塑性化しているだろうルート先端部の時効に伴った脆化による亀裂の成長を防止したいというような総合的な工学判断により裏側スミ肉を有した部分溶け込み溶接継手とした。

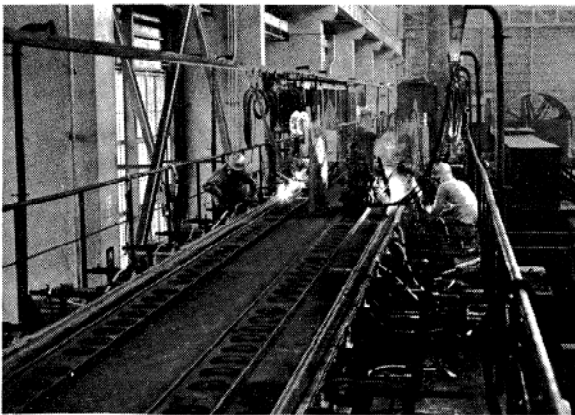


写真 4

カド継手は予熱、溶接施工とも原則として、対称に施工した。本橋のような大型部材では、溶接後のひずみの矯正はほとんど不可能と思われる、当初溶接後の弦材の全体曲りあるいはねじれ等の懸念があった。しかしながら、極厚板の溶接変形に対する有利性や慎重な組立あるいは対称施工の採用により、弦材および腹材とも  $\frac{1}{4000}$  から  $\frac{1}{3000}$  以下の初期たわみにおさえ得て、後作業の仮組立あるいは架設におけるトラブルを皆無に近くし、工事全体の省力化と良好な構造物全体の精度確保に寄与し得たと思われる。

#### 4. 港大橋における管理と検査

従来の橋梁の場合と異なり、本橋は、HT80などの鋭敏な高張力鋼を多量に使用する構造物であるので、従来の橋梁の場合に行われてきたエンドリザルト方式の検査のみでなく、品質管理体系全体を適確に把握して事故を未然に防ぎかつ構造物の機能向上の促進をはかるため途中の管理もあわせて実施した。

図-12に本橋の製作において、主として溶接

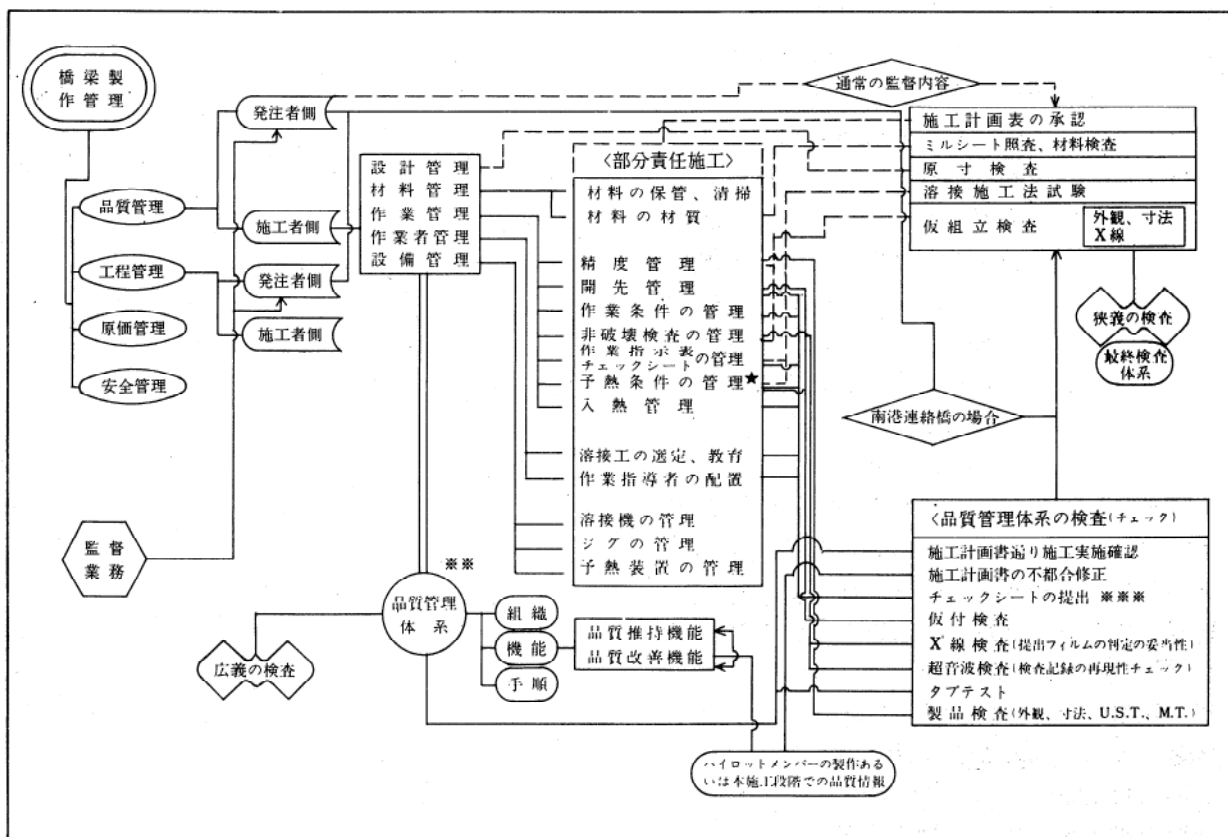


図12 港大橋の製作管理

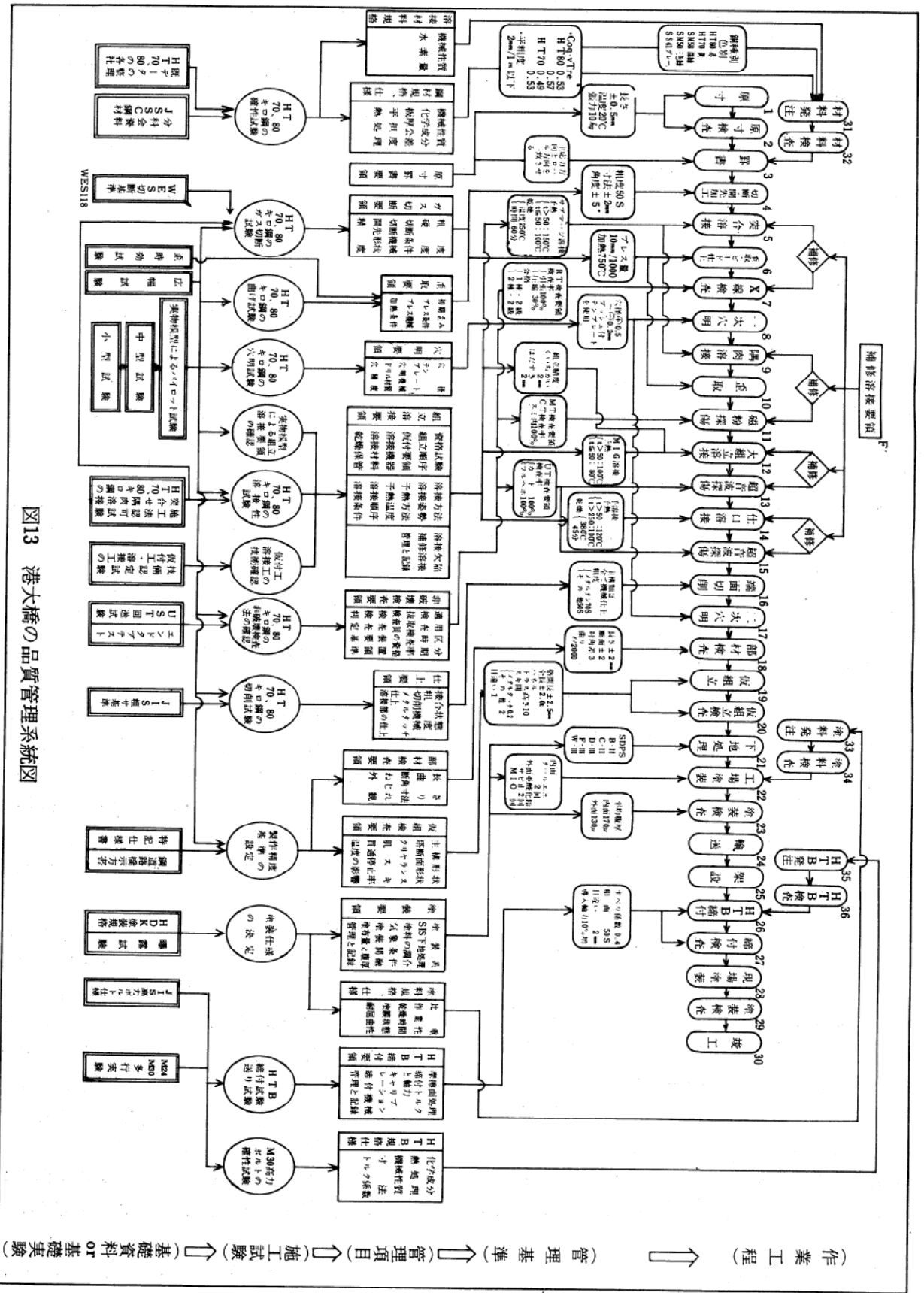


図13 港大橋の品質管理系統図

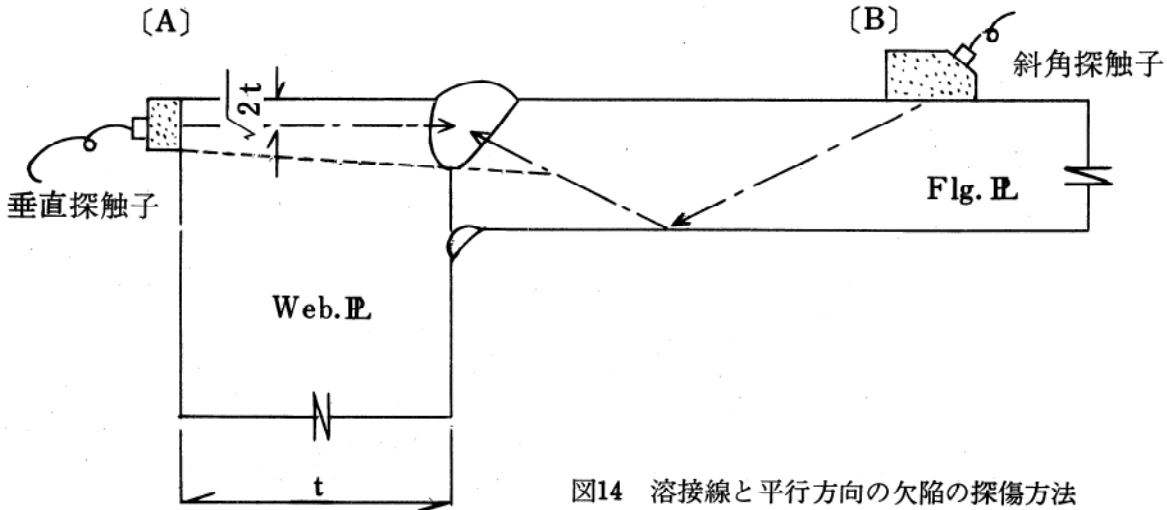


図14 溶接線と平行方向の欠陥の探傷方法

の問題に着目した管理法を通常橋梁の場合に比較して示す。

また、具体的な項目に関する品質管理系統図を図-13に示す。本図においては、トラス部材の標準作業系統の流れを1より36に示し、垂直方向の流れで実施工に対して管理をいかに適用したかを示す。

図-13に示されるように、本橋の施工管理の基本的な思想は、使用経験の少ない鋼材や溶接工法の採用等の問題もあり、種々の試験を実施し、それにより確立された条件を実施工で遵守するという進め方であり、道路橋示方書の思想を踏襲した。

次に、非破壊検査について簡単にふれる。

本橋におけるHT80などの溶接部の検査は、図-10に示されるように、板継ぎのグループ溶接には原則として、放射線透過検査、カド継手あるいはT、K型のグループ溶接にUSTそしてスミ肉溶接には液体探傷検査または磁粉探傷検査を適用した。

放射線透過検査は、HT70、80の板継ぎ溶接部に対し、引張側は全長そして圧縮側は30%以上の撮影をJIS Z 3104に準拠して行った。極厚板に対しては、装置の透過能力等の問題があり、一方、高応力レベルに供される溶接継手は従来の橋梁の継手に対するよりも高い分解能が要求される。そこで、HT80などに対し透過度計識別度を1.5%以下とし、フィルムおよび増感紙も分解能の良好なものを使用し、かつビード余盛は仕上げた後で撮影する等の配慮を行った。また、撮影時期は遅れわれの問題も懸念

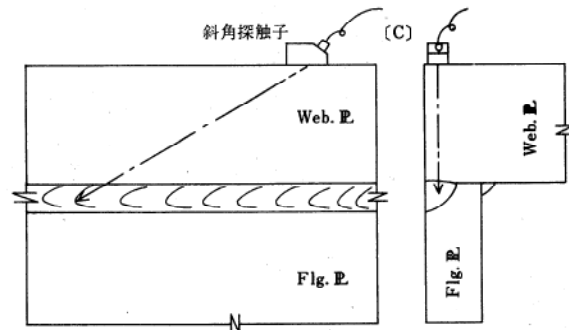


図15 溶接線と直角方向の欠陥の探傷方法

されたので48時間以上経過した後、撮影した。

USTの適用は、極厚板の探傷において放射線透過能力、分解能の関連よりフィルムに現われない欠陥の存在も懸念され、板継ぎ溶接部に対し、施工開始時期には斜角探傷法により欠陥の検出をチェックした。また、鋼床版の片面溶接等にも利用した。

本格的使用の対象は、ボックスの部分溶け込みのカド継手部である。このカド継手部のUSTの適用は、表-4に示される基本条件のもとに図-14、15の要領で実施し、明らかにわれと判定されるものあるいは最大エコー高さが50%をこえ、かつ欠陥指示長さがウェブ板厚の半分以上のもの等は原則として不合格とし補修した。

検査の実施にともない種々の問題が生じ、探傷法と判定基準の吟味のためモデル体を作成し回送試験を実施したが、その結果、下記事項がわかった。

第一に、港大橋の施工におけるように複数企業で施工する場合のUSTの適用にあたっては予め各社の探傷装置の感度の調整と性能を熟知

表4 探傷条件

		垂直法(A)	斜角法(B)	斜角法(C)
探傷器		パルス反射式		
探 触 子	周波数	4~5MHz	4~5MHz	
	振動子寸法	10φまたはこの寸法に近いもの	10×10またはこの寸法に近いもの	
	屈折角	—	45° 70°	
標準試験片		ND I-STB-A <sub>1</sub> 学振Ⅲ-STB-V <sub>1</sub>	ND I-STB-A <sub>1</sub> ND I-STB-A <sub>2</sub>	
探傷感度		学振Ⅲ-STB-V <sub>1</sub> 50%	ND I-2404-70 4、7、3項に準ずる。	
接触媒質		グリセリンまたは水		
装置の 性能	探傷器	ND I S-2404-70 2、1項に準ずる		
	探触子	—	ND I S-2404-70 2、2項に準ずる	

しておく必要性があるだけでなく、実構造物に近似したモデル体を製作するなどして実物との対比づけを十分行っておく必要がある。

第二に、合否判定基準のバラッキを小さくするため、表-4に示される条件では、不十分であるという結果が得られた。バラッキの要因としてUST機器のみならず探触子固有の周波数のバラッキ(±20%)や探触子の材質(水晶、ジルコン酸鉛、チタバリ)、保護膜の有無、表面アラサ、標準試験片の材質、媒質、探触子の圧力等が挙げられる。そこで、本橋のような部分溶け込み溶接へのUST適用に際しては、少なくとも探触子寸法、周波数、保護膜そして媒体は統一すべきであると思われる。

上記のような感度の問題のほかに、部分溶け込み溶接へUSTを適用する場合、溶接設計とのバランスのかけ方の問題があろう。

すなわち、われ等の欠陥を一番生じやすいレ形開先ルート部付近に対し、USTの探傷能力には限界があり、ルート先端より2~3mmの範囲は探傷が非常に困難である。そこで、設計応力上の必要のど厚に対し、この分だけ余裕を見込んで開先加工をする必要があり、本橋の場合 $\sqrt{2t}+3$ mmを保証する目標を以て $\sqrt{2t}+5$ mmの開先寸法で施工した。この点において、探傷能力にからめた必要など厚寸法以上の開先深さの余裕をとることは、不必要な溶接量の増加による溶接変形の増加等の観点より好ましくないだけでなく、保証範囲外であれば欠陥があっても良い等の乱暴な思想も考えられ、好ましくない。

この点においても、部分溶け込み溶接に対しUSTは定量判断の手段としては、一つの限界が感じられた。そして、良好な構造物の確保には、検査だけでなく十分な製作途上の管理が重要であると言えよう。

## 5. あとがき

港大橋の材料、溶接に関し、紙面の都合により簡単に触れた。わが国で初めての長大トラス橋に、極厚のHT80などの適用は初めてのケースであり設計から架設に至るまで多くの問題と関連を有している。すなわち、信頼性の高い溶接を行うためには、材料の選定以前の条件として、設計上の問題もある。たとえば、設計上、自動溶接が大幅に採用しうる構造であれば、それだけ管理が行きとどき良品質が得られる。この点、従来橋梁に比し、本橋は高い自動化率である。また、材料規格設定等で重視した脆性破壊の防止に関しても架設と関連があるとも言える。すなわち、架設途中の無理な内部応力は、過去の事故例より、脆性破壊に連なる恐れがある。

そこで、港大橋の建設には、設計、材料、溶接、検査、架設に至るまで含めた総合的な安全性評価のもとに細心の注意をはらって施工するとともに、相互の情報を密に交換し、良好な品質が得られるよう努力してきたのである。