

鋼床版トラフリブ疲労亀裂補修前後の応力測定

神戸管理部	調査設計課	米倉	徹
同部	同課	柳瀬	保
同部	同課	丸山	悟

要 約

阪神高速道路神戸西宮線の西宮市域の5径間連続鋼床版ゲルバー箱桁橋（西宮第2工区、管理番号神P-34~39）において、平成2年6月の定期点検でトラフリブに疲労亀裂と思われる損傷が発見された。その後の追跡点検で疲労亀裂損傷を確認し、平成4年度に補修工事を行った。補修工事の際、損傷箇所の応力測定を行い、補修効果の確認と疲労余寿命の推定を行った。また、破面観察を行い、亀裂発生原因の推定も行った。その結果、溶接部や、プレス曲げ加工したトラフリブのコーナー部より亀裂発生していた。平成5年度には、若返り工事の際に補強施工を試験的に行った。補強効果については現在解析中である。

最近、鋼床版の疲労損傷事例が多く発表されてきている。これは、車輛の大型化や過積載車輛等の重交通による影響が大きい。こうした疲労損傷に対し、抜本的な補修・補強が必要である。本論文では、西宮市域のゲルバー桁について、損傷状況・補修施工・応力測定結果・亀裂発生原因の推定までを述べる。

キーワード：鋼床版、疲労亀裂、疲労寿命、補修、損傷、トラフリブ、補強

1 まえがき

阪神高速道路神戸西宮線は、昭和45年3月に開催される万国博覧会を控え、昭和43年7月より工事着手し、昭和45年2月に全面開通した。

本橋は西宮市域でも「宮水」地区という特殊な地域に位置し、橋梁形式の選定段階からいろいろな外的制約があり、諸検討を重ねた結果、現在の上・下部工形式に決定した。西宮第2工区は、橋長418mの5径間連続鋼床版ゲルバー箱桁橋（管理番号神P-34~39）である。この橋は昭和44年に製作され、鋼床版の軽量化の為に国内では事例

の少ない閉断面リブ（以後トラフリブと呼ぶ）を縦リブに用いた。本橋は、トラフリブを採用した最初の頃の鋼床版である。

昭和45年の供用開始以来すでに20年が経過したこの橋は、平成2年6月の定期点検でトラフリブに疲労亀裂と思われる損傷が発見された。そこで平成3年12月に進行状況の確認のための追跡点検を行い、平成4年5月には損傷部の応急補修としてストップホール施工を行った¹⁾。この間「鋼橋の耐久性に関する調査研究委員会 疲労・損傷の

検討部会」で補修方法の検討を行った。そして平成4年9月から平成5年3月にかけて、ストップホールの効果確認と損傷亀裂の進行状況確認のための詳細点検、損傷箇所の補修、および補修前後の応力測定を行った。

2 損傷について

阪神高速道路神戸西宮線、西宮市域の5径間連続鋼床版ゲルバー箱桁橋（以後ゲルバー桁と呼ぶ）は、供用開始以来20年が経過し、平成2年6月（1回目）の定期点検でトラフリブに疲労亀裂と思われる損傷が発見された。その後平成3年12月（2回目）と平成4年10月（3回目）に進行状況確認のための追跡点検を行った。

表-1に損傷数の経年変化を示す。1回目点検が20箇所、以後29箇所、56箇所と増えている。特に2回目から3回目にかけて、1年足らずの間に約2倍に増加している。これは短期間に新たな疲労亀裂が発生したということではなく、確認出来てなかった微小な亀裂が表面に現れた、あるいは塗膜割れによって亀裂が確認出来たものが大部分であると考えられる。

2回目点検で確認された29箇所の亀裂長について、3回目と比較すると、単純平均で82.4mm伸びており、亀裂の進行は比較的速いと言える。

表-1 損傷の経年変化

点検年次	トラフリブ 損傷箇所数	29箇所当り の損傷延長
平成2年6月点検	20箇所	——
平成3年12月点検	29箇所	12725 mm
平成4年10月点検	56箇所	15114 mm

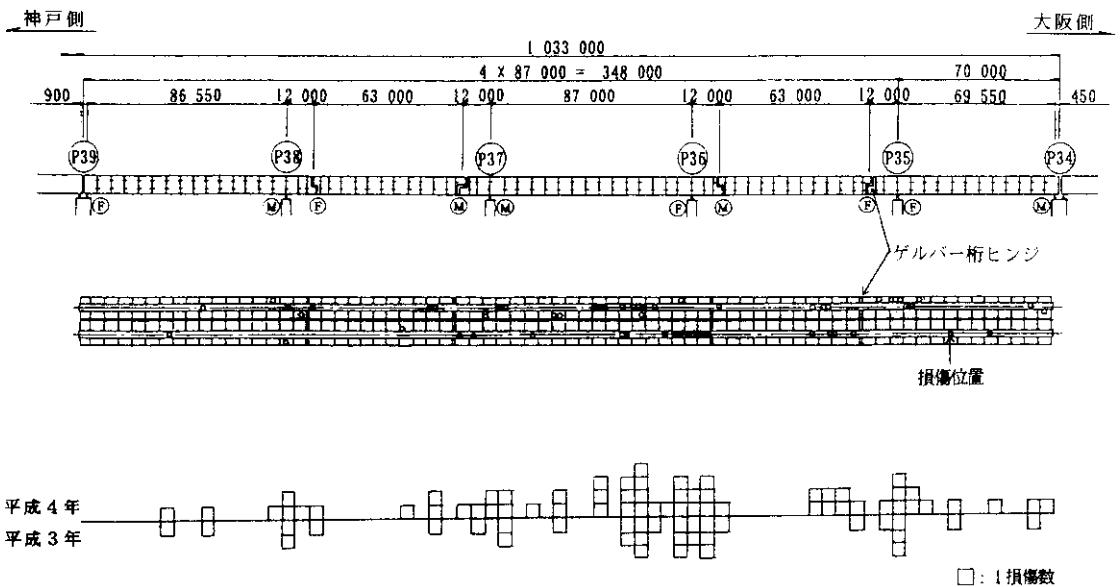


図-1 橋軸方向の損傷分布

下り線
(神戸行)

上り線
(大阪行)

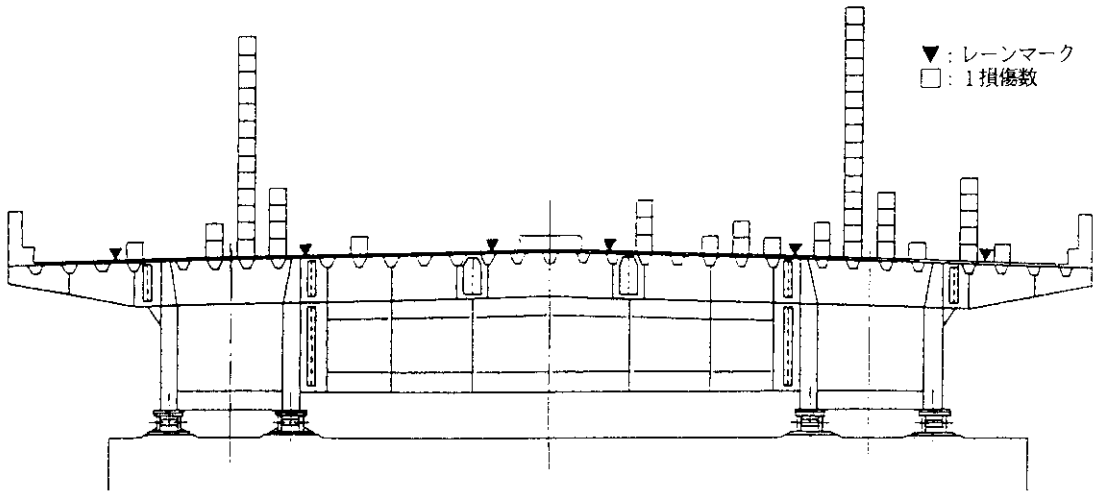


図-2 橋軸直角方向の損傷分布

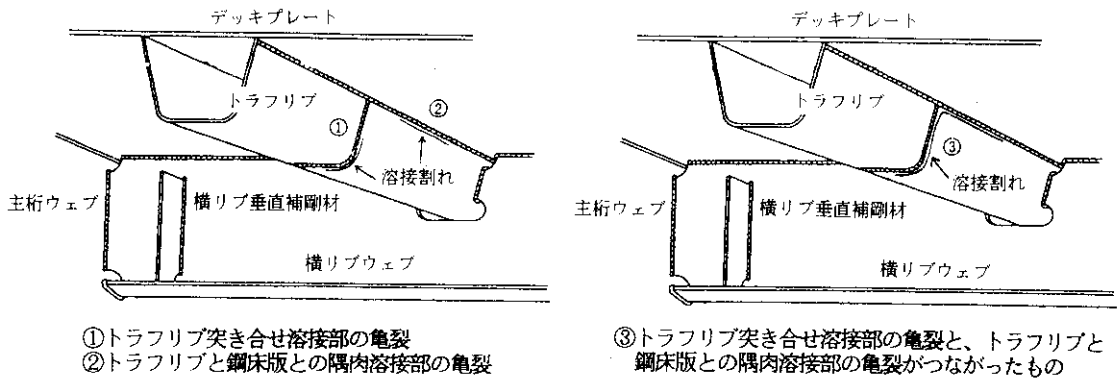
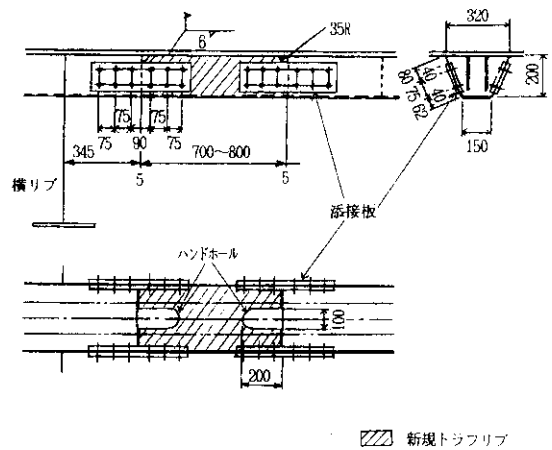


図-3 損傷状況

損傷分布を図-1・2に示す。橋軸方向の損傷分布は、P-36～P-37の複定着スパン部（2つの張出部を持つ張出ばり）に比較的集中していると思われる（56箇所の損傷の内、29箇所がこの区間にある）。また、橋軸直角方向の損傷分布は、走行車線上の箱桁内の2番目のトラフリブに約半数の損傷が集中している。レーンマーク位置から推定すると、このトラフリブ直上あるいは極めて近い位置に輪荷重が載荷しており、この影響が大きいと考えられる。

損傷状況を図-3に示す。亀裂発生パターンは①トラフリブ突き合せ溶接部の亀裂（特にプレス曲げ加工したコーナー部）、②トラフリブと鋼床版との隅肉溶接部の亀裂に大別出来る。亀裂損傷は上記2パターンから亀裂が進行し、①・②が重なったもの（③）、①・②からトラフリブ本体に亀裂が至るもの（④、⑤）が大部分である。



a) トラフリブの取替

3 補修について

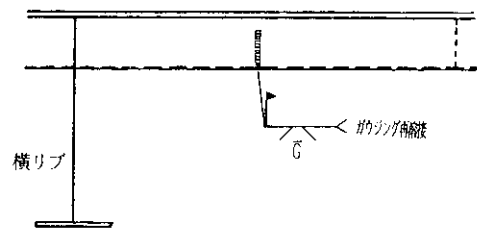
補修方法は図-4の様に、2パターンに大別出来る。

3-1 トラフリブの取替

トラフリブ突き合せ溶接部から鋼床版との隅肉溶接部に亀裂が至っている場合、又はトラフリブ本体に亀裂が至っている場合で、トラフリブのある部分を撤去しなければ損傷部を完全に撤去することが出来ない箇所に適用する。補修方法としてはトラフリブ損傷部を700mm又は800mm撤去し、新規トラフリブを高力ボルトで結合する。

3-2 再溶接

比較的軽微な損傷に対して適用する。補修方法としてはガウジングにより損傷部を除去し、溶接により補修する。



b) 再溶接

図-4 補修方法

4 応力測定

損傷部補修の効果確認と疲労余寿命の推定のため、応力測定と応力頻度測定を行った。測定は比較的損傷度合いの大きな下り線側神P-35～36の健全なトラフリブと、補修した（損傷）トラフリブ及び下フランジ部について行った。測定位置を図-5に示す。測定位置A・Bは健全部である。測定時間は48時間の連続計測とした。

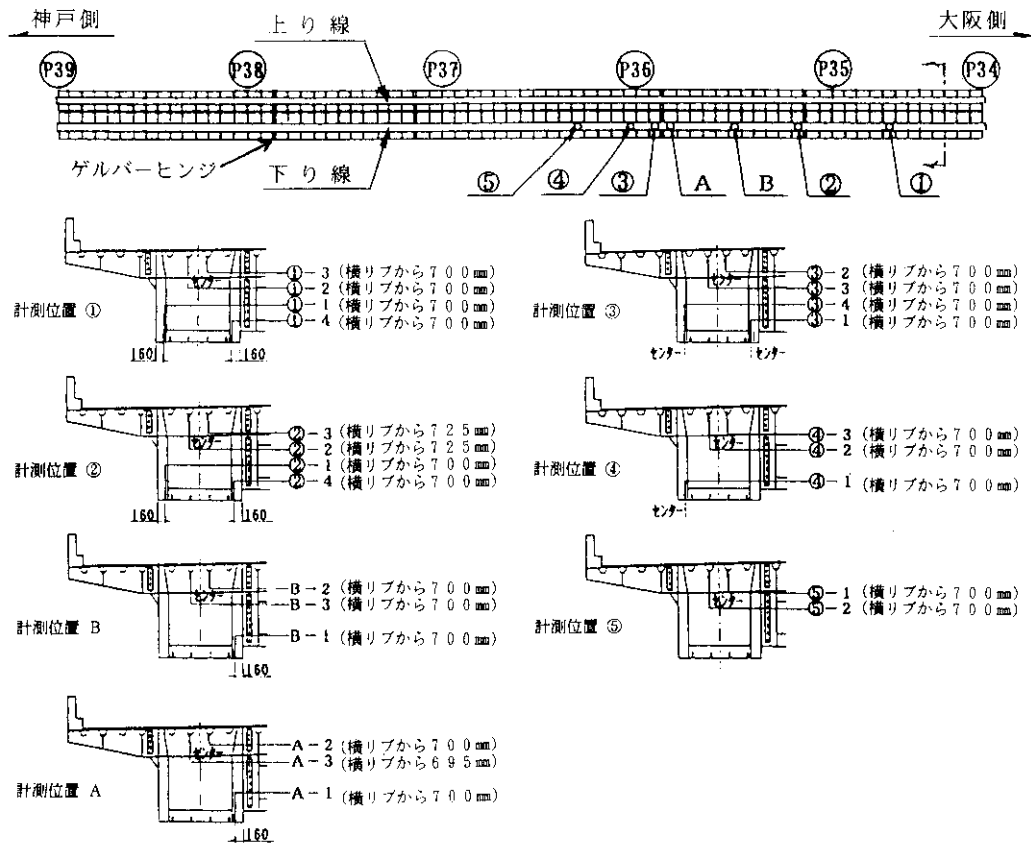


図-5 測定位置

4-1 応力測定

応力度を比較したものを表-2に示す。トラフリブでは、最大応力は設計応力を全て下回っている。下フランジ部では、最大応力が設計応力を越える箇所が見られるが、許容応力度は193.8Mpaであり、即問題になることはない。また、設計応力を越えている箇所はゲルバー桁ヒンジ部に集中しており、ジョイント部段差での衝撃の影響と思われる。

等価応力の比較について、橋軸に対して対称なトラフリブあるいは下フランジ部の応力はほぼ等しく、補修したことによって応力の流れがスムーズになったものと考えられる。

4-2 疲労余寿命の推定

疲労余寿命の推定は、応力頻度測定値と、「鋼構造物の疲労設計指針・同解説 (社)日本鋼構造協会、1993年4月」の疲労設計曲線とを比較して算出した。継手の強度等級はF等級(裏当て金付き片面溶接)とした。補修前後の疲労余寿命の比較を表-3に示す。

損傷部の補修後の余寿命は全体的に極端に余寿命の短い箇所が無くなっており、応力の流れがスムーズになったものと考えられる。健全部(測定箇所A, B)の補修後の余寿命は、補修前の余寿命に比べて短くなっているものがある。この理由としては、補修によって応力系が回復し、損傷部に集中していた応力が分散されたものと考えられる。

表-2 応力比較

(単位: Mpa)

測定位置	設計応力	最大応力	等価応力範囲		
			補修前	補修後	
①	1	97.0	50.2	42.7	42.9
	2	90.8	61.9	45.5	27.0
	3	90.8	71.9	—	27.9
	4	97.0	61.9	—	47.0
②	1	50.0	68.6	65.2	56.3
	2	90.8	60.3	31.6	26.2
	3	90.8	56.9	—	26.0
	4	50.0	56.9	—	52.1
B	1	75.8	68.6	49.6	57.7
	2	90.8	88.7	26.3	26.7
	3	90.8	77.0	27.0	27.5
A	1	50.0	65.3	47.2	60.1
	2	90.8	78.6	27.2	32.9
	3	90.8	71.9	26.9	49.3
③	1	62.2	58.5	—	53.9
	2	90.8	85.4	27.5	28.5
	3	90.8	77.0	—	28.7
	4	62.2	55.2	—	50.8
④	1	56.2	60.3	50.3	54.7
	2	90.8	45.2	37.7	26.0
	3	90.8	71.9	—	28.5
⑤	1	90.8	77.0	28.2	30.9
	2	90.8	68.6	28.8	33.7

注) 下フランジ部

表-3 疲労余寿命計算結果

(単位: 年)

測定位置	補修前	補修後
①-1	3.7	70.5
①-2	83.2	70.6
②-1	6.0	α
②-2	8.6	19.5
B-1	177.0	129.0
B-2	30.5	26.9
B-3	124.7	87.4
A-1	α	22.5
A-2	22.3	68.2
A-3	149.1	48.1
③-1	9.4	α
③-2	50.4	42.7
④-1	83.9	200.6
④-2	19.0	222.3
⑤-1	20.2	69.8
⑤-2	88.3	109.5

注) 下フランジ部

5 亀裂発生原因の推定

補修工事の際に撤去した損傷部分について、破面観察を行い、亀裂発生原因の推定を行った。

a) トラフリブの継手箇所

プレス曲げ加工したコーナー部

図-3 ①の亀裂発生タイプである。破面観察の結果、突き合せ溶接部が部分溶け込み溶接になっており、荷重がトラフリブ直上に載荷された時、コーナー部に応力集中が生じ、亀裂が発生したと思われる(図-6)。

b) トラフリブと鋼床版との

隅肉溶接部

図-3 ②の亀裂発生タイプである。トラフリブ近傍に輪荷重が載荷した場合の鋼床版の変形形状から推定すると、隅肉溶接のルート部には引張り力が作用するものと思われる(図-7)。破面観察では、溶接の溶け込み不足が見られた。

以上 a), b) から、亀裂発生原因をまとめる

と、次のように整理できる。

- I) 輪荷重載荷による引張り力(横リブにより変形が拘束されている箇所の応力大)
- II) 輪荷重載荷による局部変形
- III) 隅肉溶接部の溶け込み不足によるルート部の応力集中
- IV) 隅肉溶接部ののど厚不足

亀裂は、これらの条件が重複して発生すると考えられる。実際に損傷が確認された箇所は、幅員構成から想定した車輪の軌跡分布のピークに近いトラフリブ位置であった。

また、a), b) からトラフリブ本体へ亀裂が進行する理由としては、次のように推測される。

“隅肉溶接部に作用する引張応力は、横リブの拘束力による影響が大きいと考えられ、横リブの拘束力の影響範囲内で溶接部の不健全箇所では、隅肉溶接部を亀裂が進展する。しかし、亀裂の進展が、溶接も健全で、溶接ののど厚がトラフリブ板厚よりも寸法的に大きい箇所に至った場合、溶接部の亀裂が止まり、トラフリブ本体に亀裂に至る。”

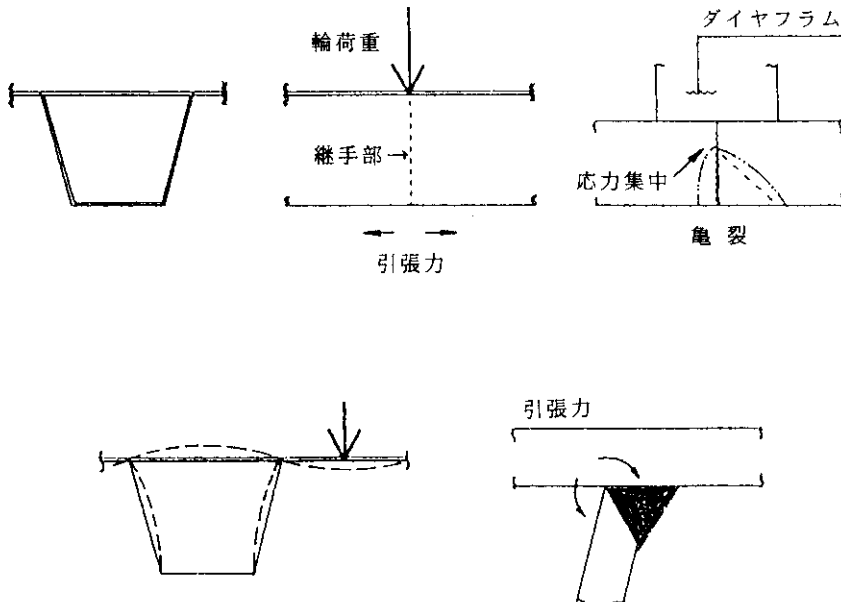


図-7 輪荷重がトラフリブ近傍に載荷された時の応力作用図

6 建設当時について

本橋が西宮市域の「宮水」地区に位置し、橋梁形式の選定段階でいろいろな外的制約を受けてゲルバー桁に決定したことは既に述べた。しかし、橋梁形式の選定と共に、当時の技術レベルではトラフリブ採用に伴う製作上の問題も多くあり、少なからず本報告で述べてきた損傷亀裂に影響を与えていると考えられる。そこで、施工報告書²⁾からの抜粋を以下に示す。

6-1 トラフリブと横リブの組立・

溶接における問題

U型のリブは、平板をプレスにより成形したもので、製作誤差等の為、必ずしも横リブの切込みに合致するとは考えられない。しかし、もし隙間のあるまま溶接した場合、次のようなことが考えられる。

- イ、トラフリブ及び横リブ相互の引張力により溶接部に割れを生じやすい。
- ロ、溶接後も隙間が残った場合、これが一種のノッチとなり、応力集中の原因となる恐れがある。
- ハ、隙間が大きな場合、溶接残留応力をより多く生ずる。

これらに対して、トラフリブおよび横リブの溶接には低水素系溶接棒を使用し、その施工にあたってはできるだけ下向き溶接を行い、アンダーカット・溶け込み不良等のないようにした。

6-2 トラフリブと鋼床版の溶接

トラフリブと鋼床版とのなす角度が75°の場合、片面すみ肉溶接ではのど厚の不足や偏心が考えられる。これに対しては、施工に先立って試験施工を行い、30°の開先をとれば完全な裏波を生じさせる溶接ができることを確認して施工した。

6-3 トラフリブの突合せ溶接

トラフリブの突合せ溶接は、プレス機の関係より580mm間隔に設けられる。これに対しては、床版としての応力の小さくなる横リブ間隔 1/4点に継手箇所を設置した。溶接は片面よりのレ型溶接であり、変形を生ずる恐れがあるので、床版にトラフリブを取り付けてから溶接を行った。そして、十分な溶接を行うため、裏当て金を採用した。なお、本橋の場合、裏当て金として $t=12\text{mm}$ の鋼板をトラフリブの中に挿入し、ダイヤフラムを併用している。

7 あとがき

最近、鋼床版の疲労損傷事例が多く発表されているが、本橋もその例に洩れず、トラフリブに疲労亀裂が発生した。損傷は、全体のトラフリブ継手数3162箇所に対し、58箇所(1.8%)であった。今後も同様の損傷や新たな損傷が増えてくると考えられ、抜本的な補修・補強対策が必要である。平成5年度には、3号神戸線の若返り工事区間に本橋が含まれることから、若返り工事時に鋼床版の増厚工法と、トラフリブ継手部の補強3案について、試験的に補強施工を行った。この補強工法の効果の確認については、現在解析中である。

最後に、補修・補強検討や応力測定にあたり、ご指導・御協力いただいた先生方をはじめ、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中谷、山本、重本：3号神戸線の鋼桁の現況と補修検討、第25回技術研究発表会論文集。
- 2) 今井、水元：西宮第二工区上部工-5 径間鋼床版ゲルバー桁橋-、橋梁 1970. 5月及び6月。