

1 . 疲 勞 関 連 W G

目 次

§ 1. はじめに	1 - 1
§ 2. 疲労設計事例調査	1 - 2
2-1. 概 要	1 - 2
2-2. 調査結果	1 - 5
2-3. まとめ	1 - 29
§ 3. 面外ガセット仕上げ効果の把握	1 - 30
3-1. 概 要	1 - 30
3-2. 解析モデル	1 - 32
3-3. 解析条件	1 - 36
3-4. 解析結果	1 - 37
3-5. まとめ	1 - 50

§ 1. はじめに

近年、鋼材の疲労損傷の発生が報告されるようになってきており、損傷に対する応急措置、もしくは恒久的な対策を施す事例が多くなってきている。

疲労損傷の発生原因は、主として近年にわたる自動車荷重の増大（規制を超過した過積載車両など）や厳しい重交通の影響が大きいこと、使用鋼材の高張力化に伴う軽量化により活荷重による影響が受け易い（振動し易い）構造となっていること、設計時のモデル化と実構造との相違、不適切な構造ディテールの採用などが挙げられ、損傷事例の多くは二次部材や主桁・主構の接合部（継手部）などから生じている。

こういったことを背景に、現行前の示方書においては設計応力に占める活荷重応力の割合が小さくし荷重に相当する活荷重が載荷される頻度が小さいことを理由に、「道路橋においては、鋼床版ならびに道路橋に軌道または鉄道を併用する場合などを除いて一般に疲労の影響を考慮しなくてもよい」となっていたが、現行の示方書ではさまざまな部材、部位で疲労亀裂の発生が報告されていることや現状における厳しい重車両の交通実態により将来の疲労損傷の増大が懸念されることから、「鋼橋の設計にあたっては、疲労の影響を考慮するものとする」となり、疲労設計が義務付けられた。

疲労設計が義務付けられてから3年程度ではあるが設計の事例数が多くなってきていることを踏まえ、本WGでは疲労設計上許容値を満足し難い構造諸元の把握を目的に、疲労設計を行った事例を収集し、いくつかのグラフ化を行った。

なお、事例収集を行った橋梁形式は、施工事例の多い従来の鈹桁橋と最近特に設計・施工事例が急増している少数主桁橋の2形式を選定した。

また、従来行われてきた研究成果の蓄積などにより、各継手構造の疲労強度や溶接止端部の仕上げにより疲労強度が向上することなどがわかってきていることを踏まえ、疲労強度が低くかつ製作数が多い面外ガセット継手を対象に止端仕上げの範囲がどれくらい必要なのか把握するためのFEM解析による検証を試みた。

ここで、事例調査表にご記入頂いた方々および面外ガセットの試験結果をご提示下さいました維持管理部会ディテールWGの方には心より感謝致します。

§ 2. 疲労設計事例調査

2-1. 概要

(1) 事例収集件数

事例の収集は、2形式（従来钣桁、少数主桁）それぞれについて当部会（設計部会）のメンバーより下記件数を収集した。

- ・従来钣桁 30件
- ・少数主桁 43件
- ・計 73件

(2) 統計内容

グラフ作成には構造諸元として下記に示す12項目に着目し、照査対象個所として疲労強度等級の低い下記6箇所に着目した。

A. 統計項目		B. 照査対象個所
①平均支間長	図-1~2	1. 横桁仕口フランジ 2. 横桁仕口ウェブ 3. 垂直補剛材とフランジの溶接 4. 垂直補剛材とウェブの溶接 5. 水平補剛材 6. 横構ガセット（従来钣桁のみ）
②平均支間長／桁高	図-3~4	
③総幅員	図-5~6	
④総幅員／主桁本数	図-7~8	
⑤車線数	図-9~10	
⑥車線数／主桁本数	図-11~12	
⑦主桁本数	図-13~14	C. 照査結果
⑧大型車交通量	図-15~16	
⑨大型車交通量／主桁本数	図-17~18	
⑩床版形式	図-19	
⑪横桁形式	図-20~21	
⑫桁高	図-22~23	
		1. 打ち切り限界 2. 累積損傷度 3. 仕上げによる対処 4. 板厚・構造の変更 5. その他

事例収集に用いた調査表について、従来钣桁および少数主桁それぞれ次頁以降に添付する。

従来鋼桁

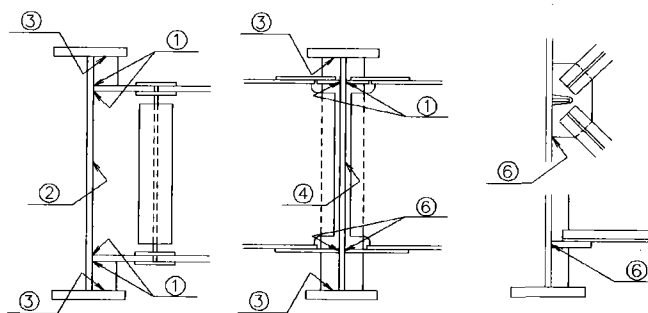
橋梁名 :

客先名 :

	単位	データ	備考
橋長	m		
支間割	m		
総幅員	m		
車線数			
床版形式			
大型車交通量(1車線)	台		
斜角	度		
曲率(クワット=近似半径)	m		
主桁本数	本		
フランジ幅	mm		
ウェブ高	mm		
横桁形式		(1:溶接仕口タイプ、2:コネクションタイプ)	

疲労照査結果

1:溶接仕口タイプ 2:コネクションタイプ



箇所	結果	
①横桁仕口フランジ		
②横桁仕口ウェブ		
③垂直補剛材とフランジの溶接		
④垂直補剛材とウェブの溶接		
⑤水平補剛材		
⑥横構ガセット		
(その他発生箇所記入欄)		(対処方法コメント)
(その他発生箇所記入欄)		(対処方法コメント)

- ①打ち切り限界を用いた照査
- ②累積損傷度を考慮した照査
- ③仕上げにより疲労等級を上げる
- ④板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤その他

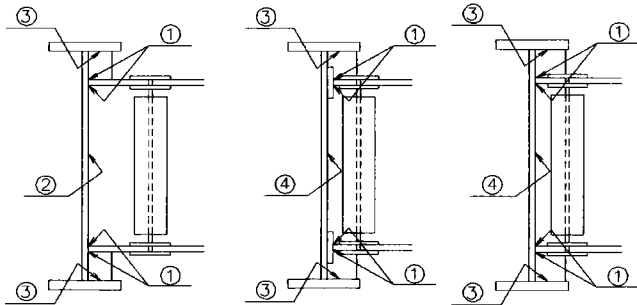
少数主桁

橋梁名：
客先名：

	単位	データ	備考
橋長	m		
支間割	m		
総幅員	m		
車線数			
床版形式			
大型車交通量(1車線)	台		
斜角	度		
曲率(クロソイド=近似半径)	m		
主桁本数	本		
フランジ幅	mm		
ウェブ高	mm		
横桁形式		(1:溶接仕口タイプ、2:スプリットティー、3:コネクションタイプ)	

疲労照査結果

1:溶接仕口タイプ 2:スプリットティー 3:コネクションタイプ



箇所	結果	
①横桁仕口フランジ		
②横桁仕口ウェブ		
③垂直補剛材とフランジの溶接		
④垂直補剛材とウェブの溶接		
⑤水平補剛材		
(その他発生箇所記入欄)		(対処方法コメント)
(その他発生箇所記入欄)		(対処方法コメント)

- ①打ち切り限界を用いた照査
- ②累積損傷度を考慮した照査
- ③仕上げにより疲労等級を上げる
- ④板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤その他

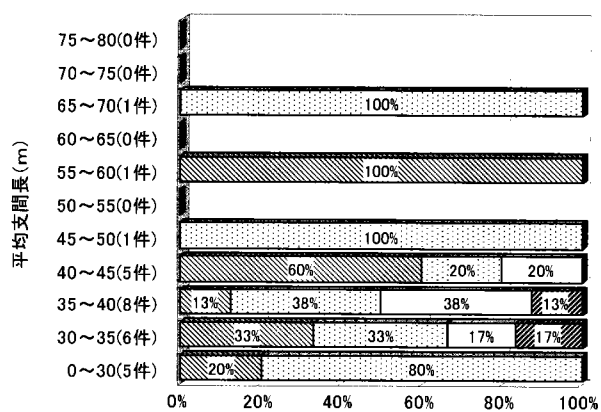
2-2. 調査結果

次頁以降に調査結果のグラフを示す。

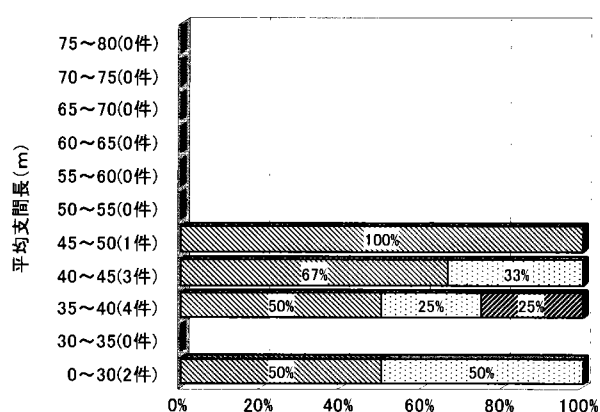
グラフの構成は、統計項目1つにつき照査対象箇所6箇所（少数主桁については5箇所）を1枚で表示。

$$12 \text{ 項目} \times 2 \text{ 形式 (⑩を除く)} = 23 \text{ 枚}$$

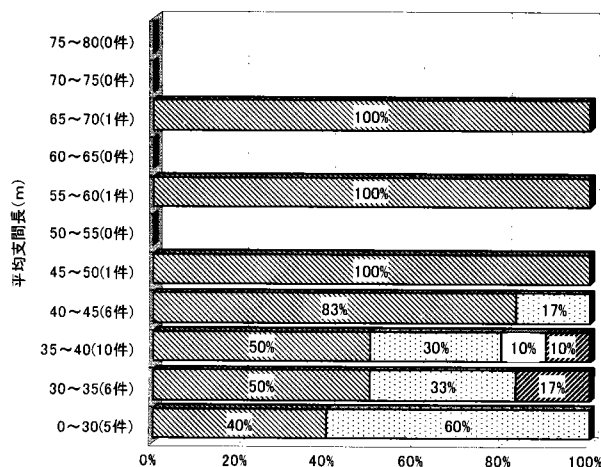
①横桁仕ロフランジ



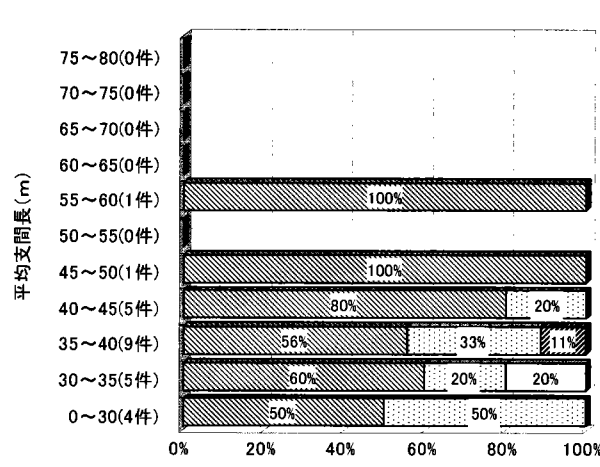
②横桁仕ロウェブ



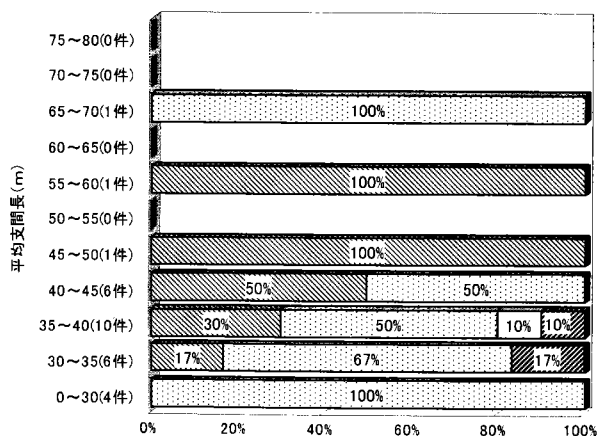
③垂直補剛材とフランジ



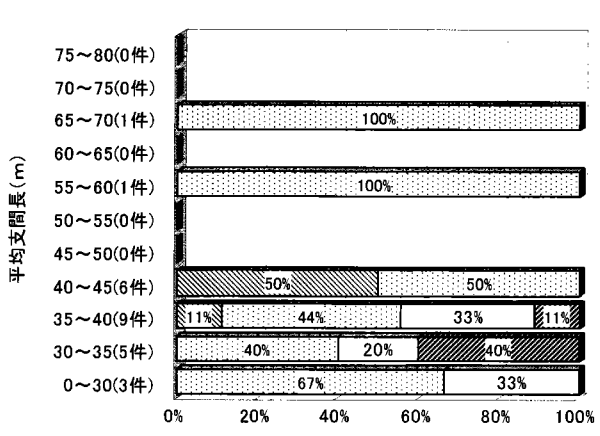
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



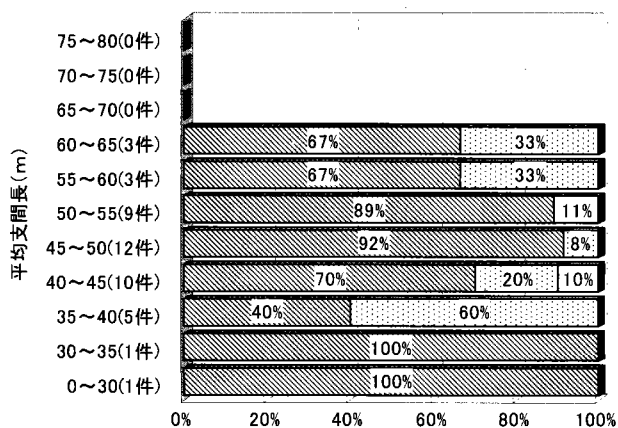
⑥横構ガセット



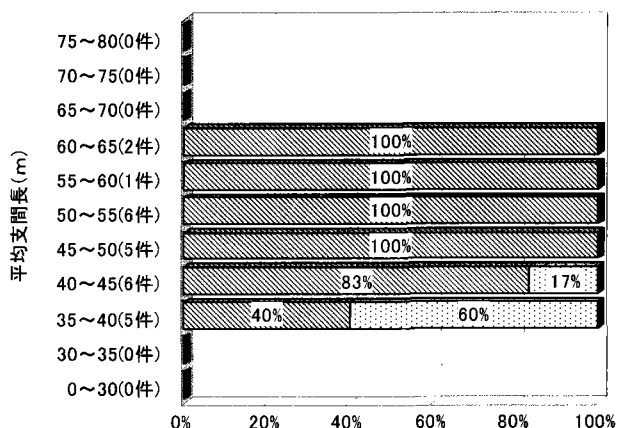
① 打ち切り限界を用いた照査
 ② 累計損傷度を考慮した照査
 ③ 仕上により疲労等級を上げる
 ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
 ⑤ その他

図-1 平均支間長 (従来鋼桁)

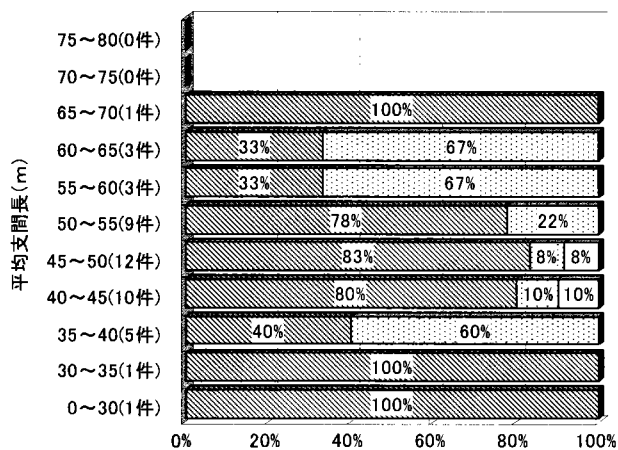
①横桁仕ロフランジ



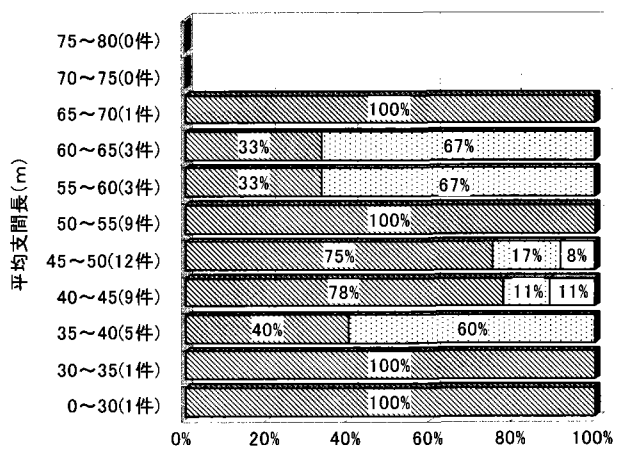
②横桁仕ロウェブ



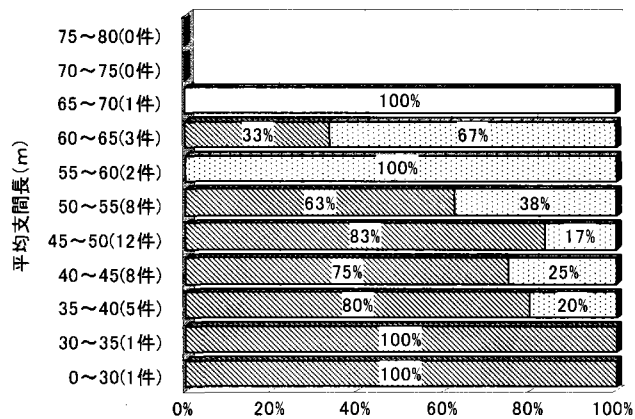
③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



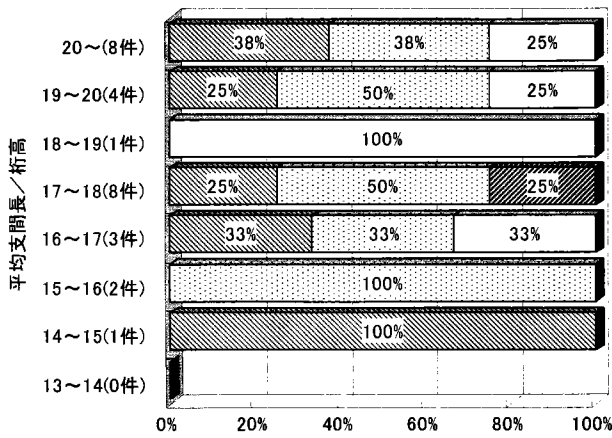
⑤水平補剛材



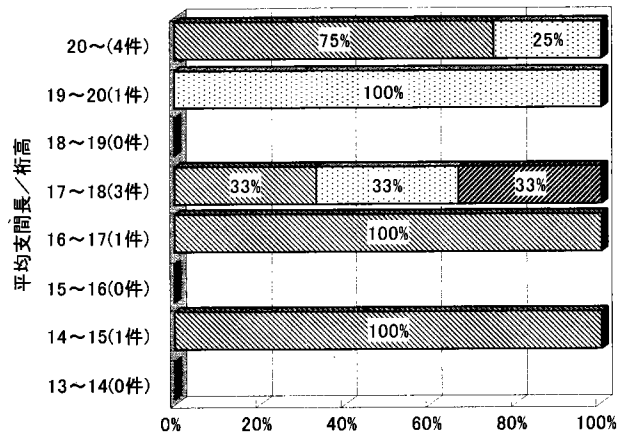
- ☐①打ち切り限界を用いた照査
- ②累計損傷度を考慮した照査
- ③仕上により疲労等級を上げる
- ▨④板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤その他

図-2 平均支間長 (少数主桁)

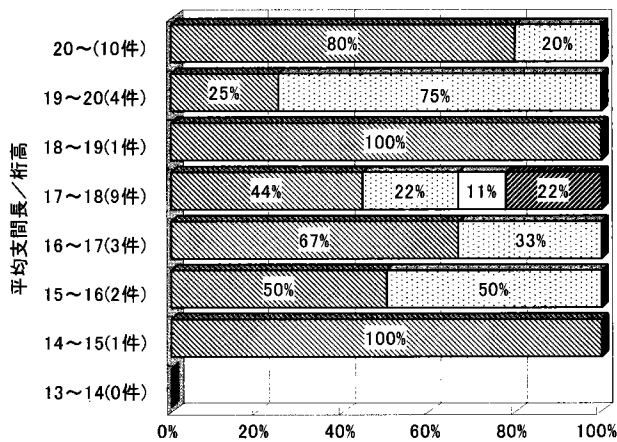
①横桁仕ロフランジ



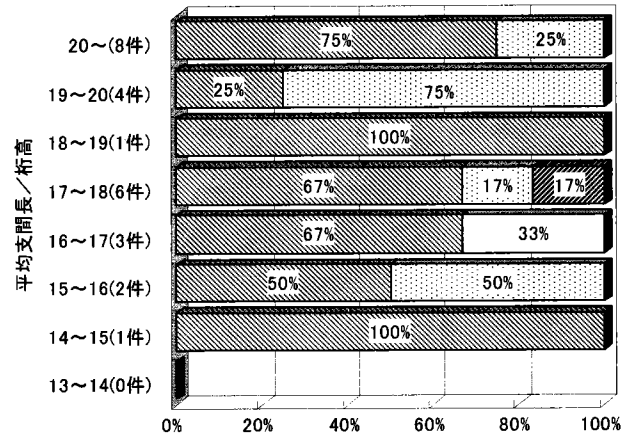
②横桁仕ロウェブ



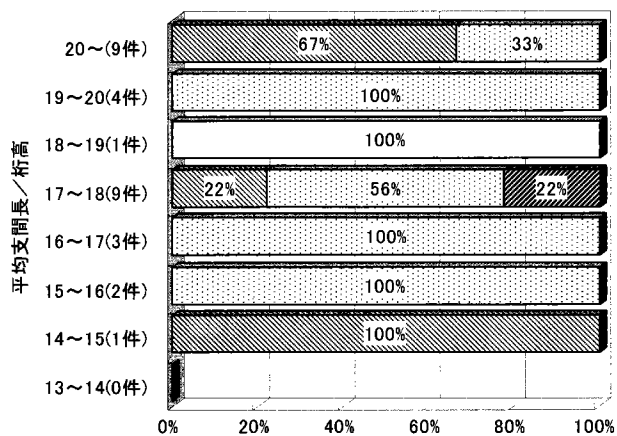
③垂直補剛材とフランジ



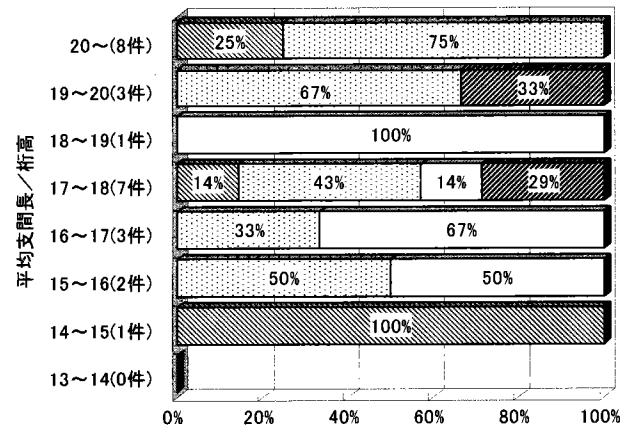
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



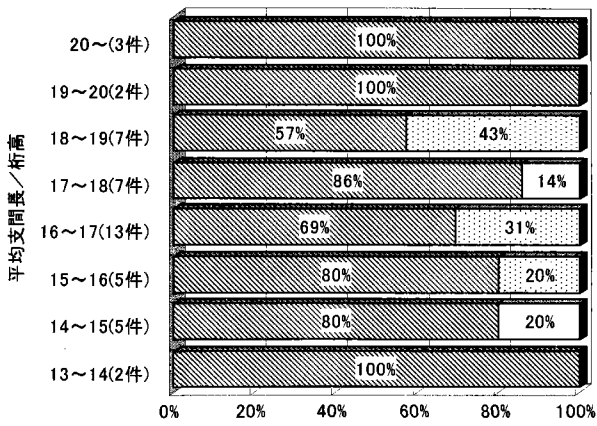
⑥横構ガゼット



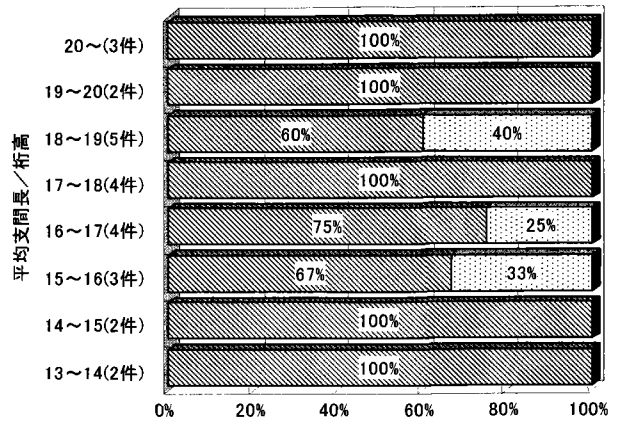
- ①打ち切り限界を用いた照査
- ②累計損傷度を考慮した照査
- ③仕上により疲労等級を上げる
- ④板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤その他

図-3 平均支間長/桁高 (従来鋼桁)

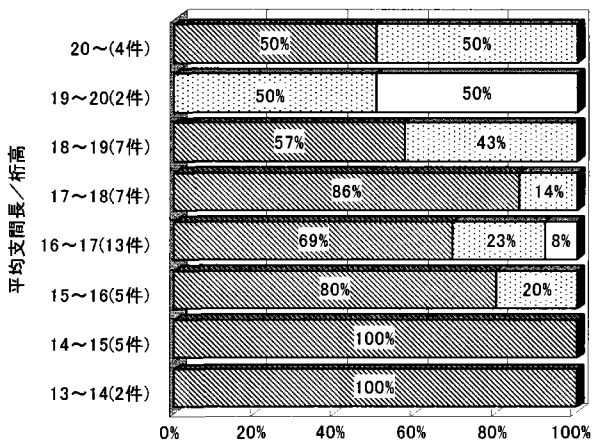
①横桁仕ロフランジ



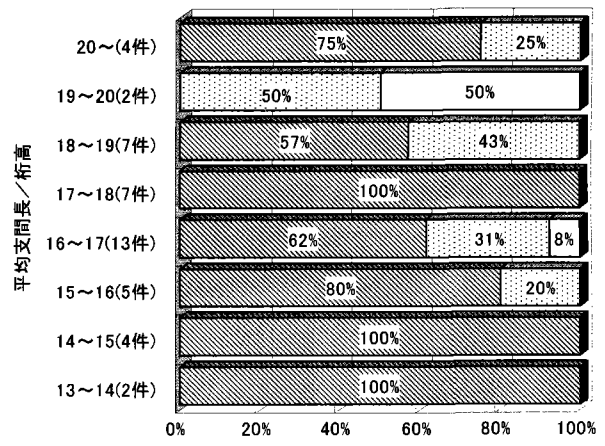
②横桁仕ロウェブ



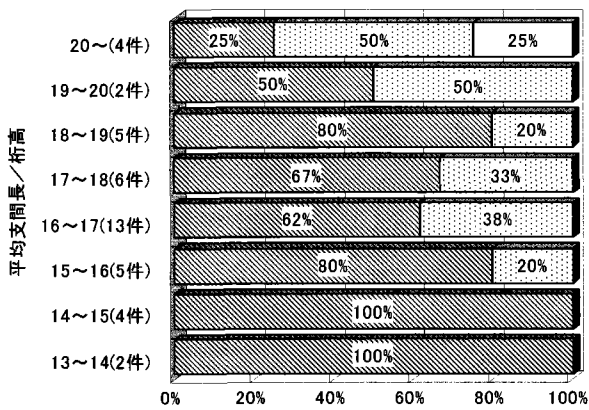
③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



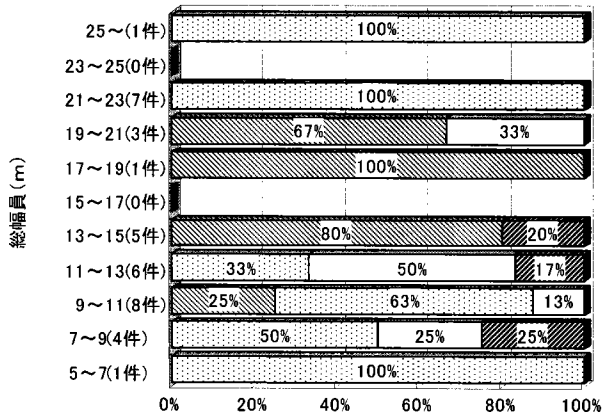
⑤水平補剛材



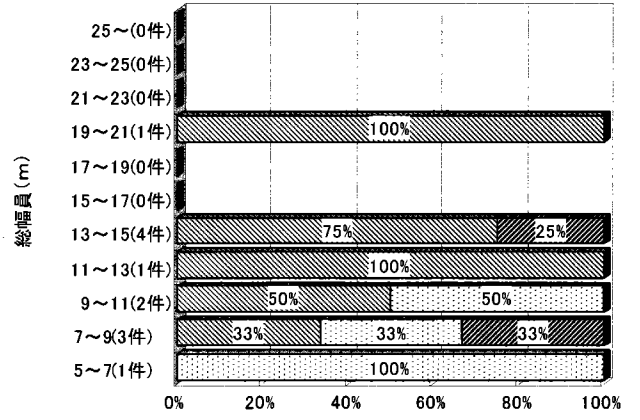
- ① 打ち切り限界を用いた照査
- ② 累計損傷度を考慮した照査
- ③ 仕上により疲労等級を上げる
- ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤ その他

図-4 平均支間長/桁高 (少数主桁)

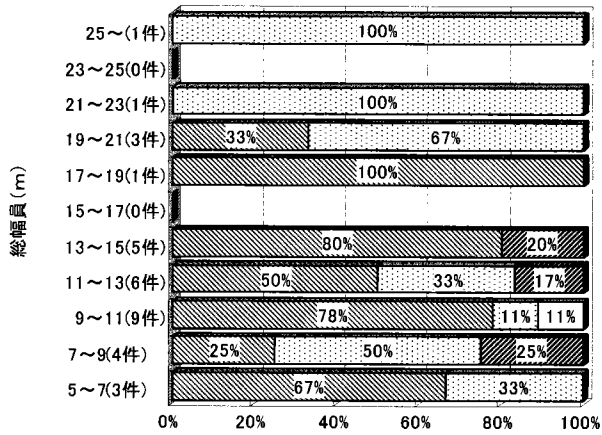
①横桁仕口フランジ



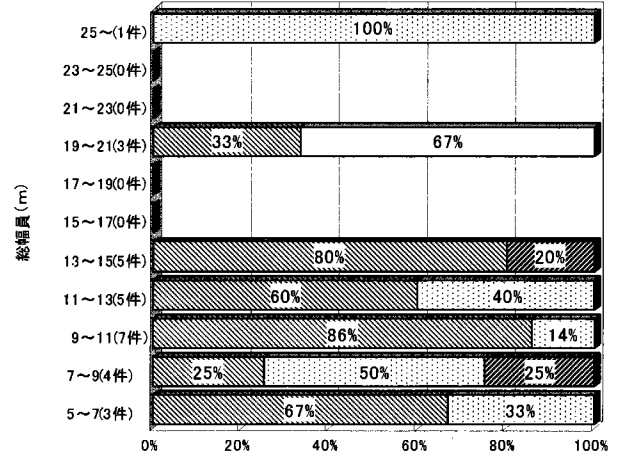
②横桁仕口ウェブ



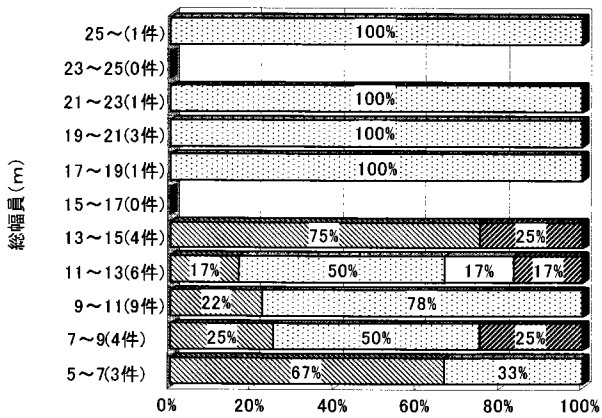
③垂直補剛材とフランジ



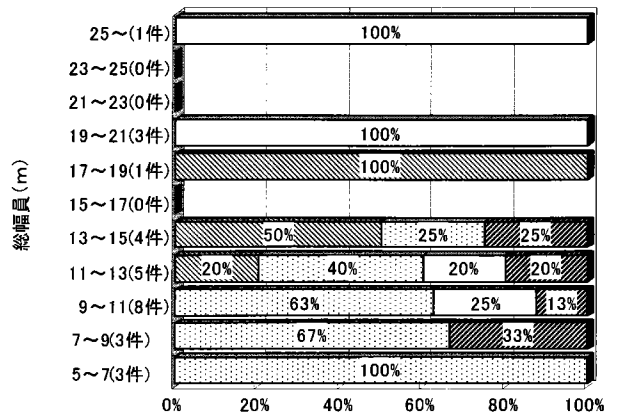
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



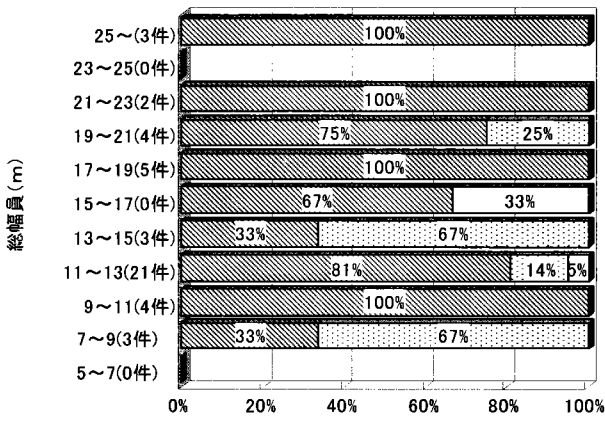
⑥横構ガセット



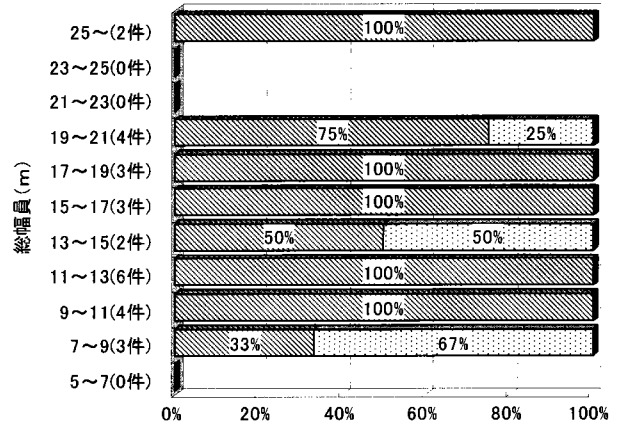
① 打ち切り限界を用いた照査
 ② 累計損傷度を考慮した照査
 ③ 仕上により疲労等級を上げる
 ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
 ⑤ その他

図-5 総幅員 (従来鉋桁)

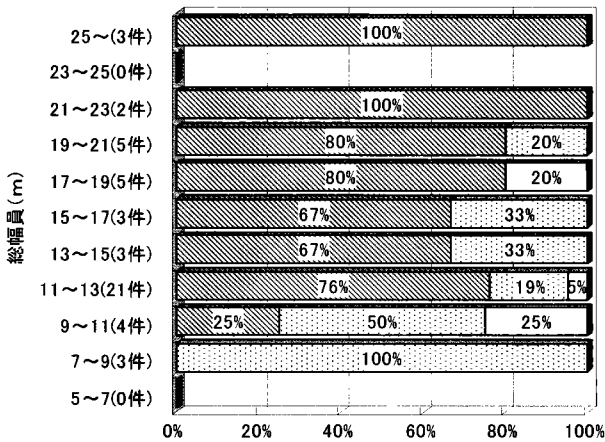
①横桁仕口フランジ



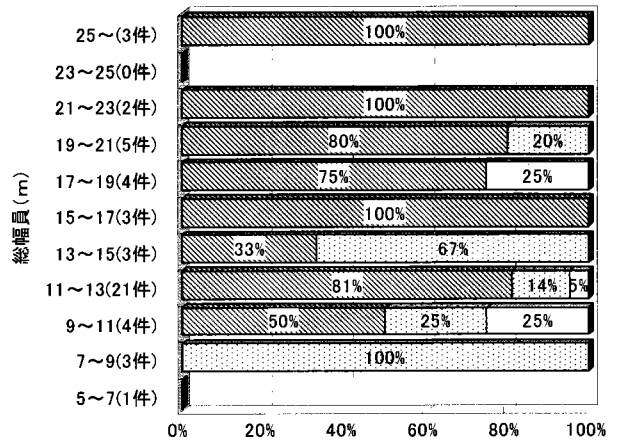
②横桁仕口ウェブ



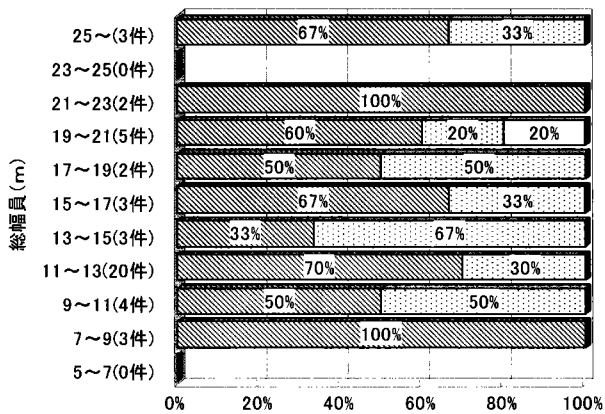
③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



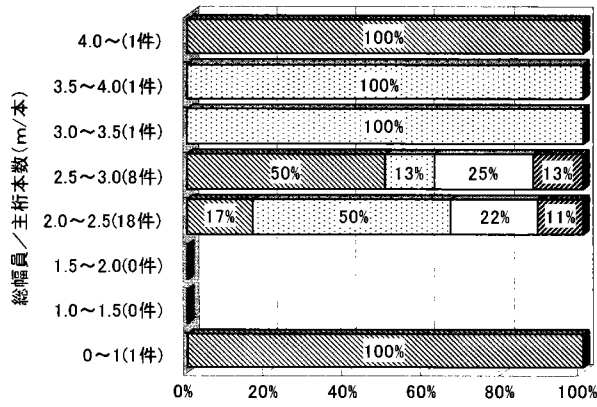
⑤水平補剛材



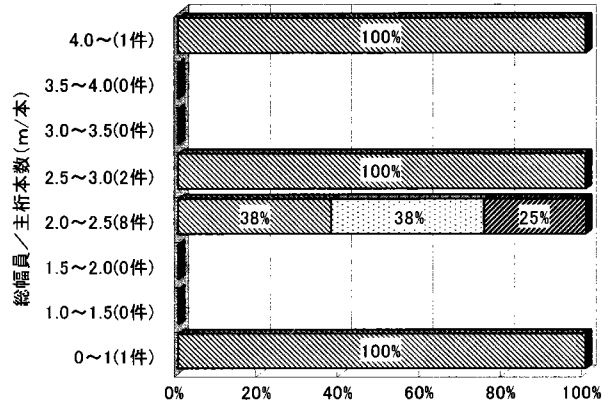
① 打ち切り限界を用いた照査
 ② 累計損傷度を考慮した照査
 ③ 仕上により疲労等級を上げる
 ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
 ⑤ その他

図-6 総幅員 (少数主桁)

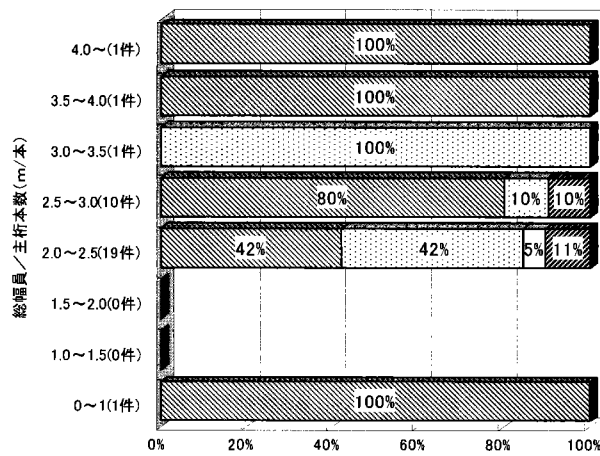
①横桁仕口フランジ



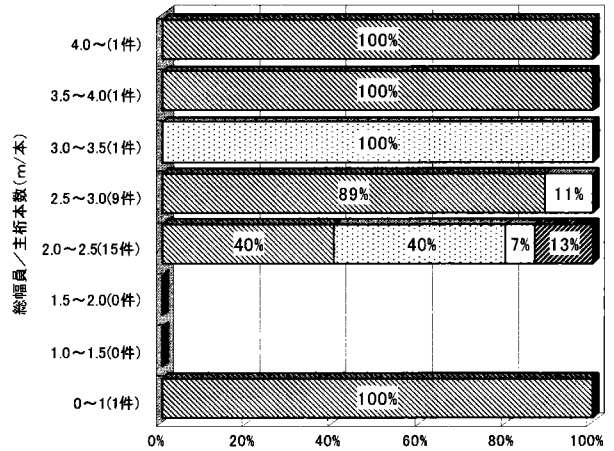
②横桁仕口ウェブ



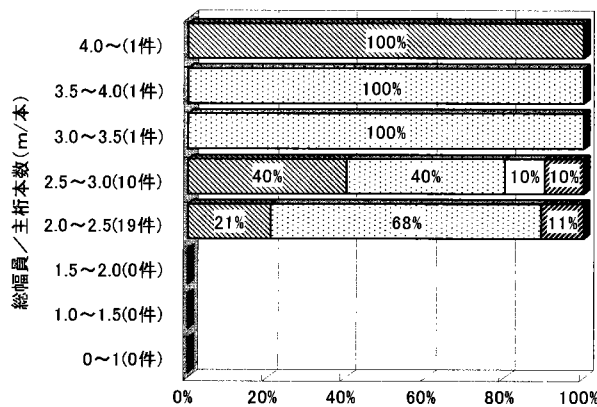
③垂直補剛材とフランジ



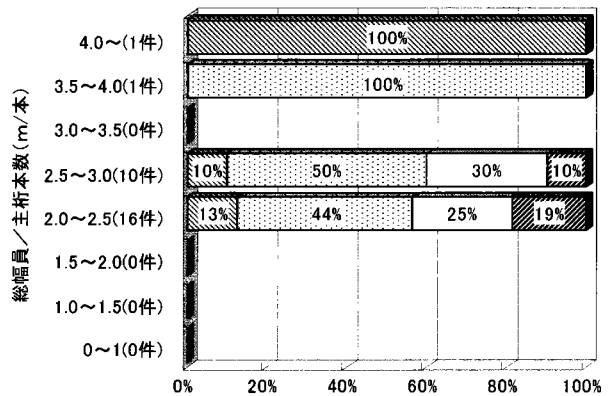
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



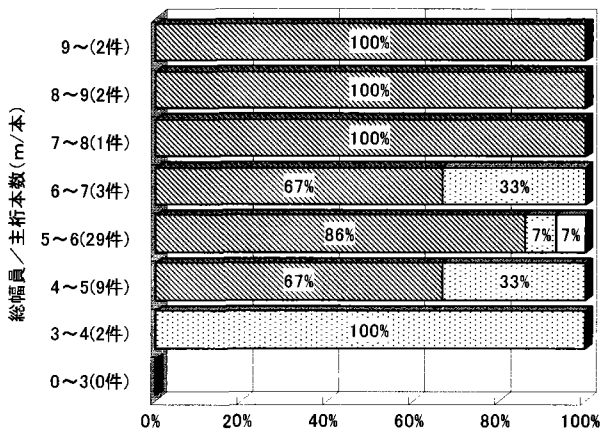
⑥横構ガセット



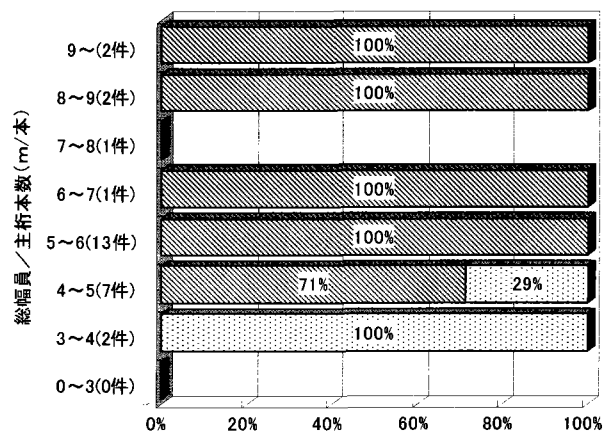
- ①打ち切り限界を用いた照査
- ②累計損傷度を考慮した照査
- ③仕上により疲労等級を上げる
- ④板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤その他

図-7 総幅員/主桁本数 (従来鋼桁)

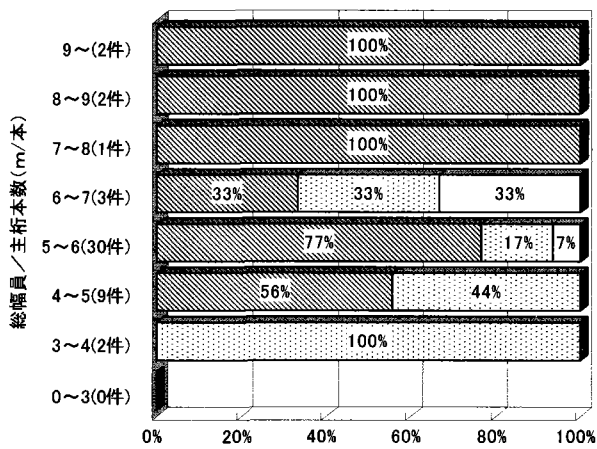
①横桁仕口フランジ



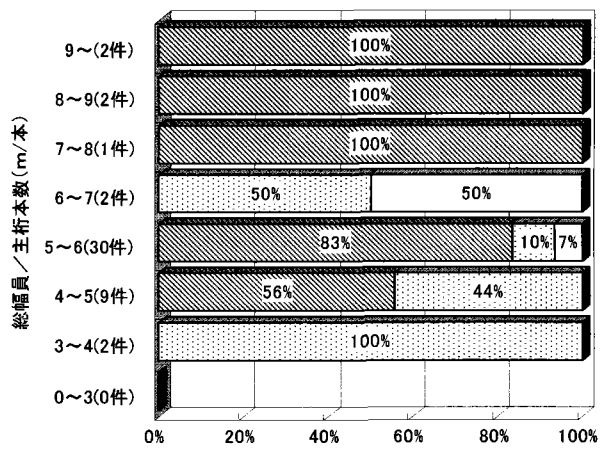
②横桁仕口ウェブ



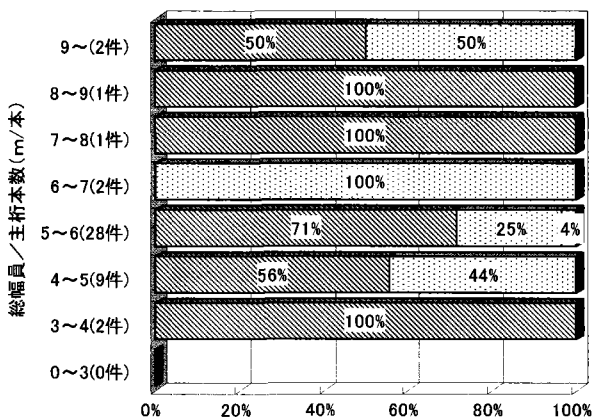
③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



■①打ち切り限界を用いた照査
 □②累計損傷度を考慮した照査
 □③仕上により疲労等級を上げる
 ■④板厚・構造変更により発生応力緩和
 ■⑤その他

図-8 総幅員/主桁本数 (少数主桁)

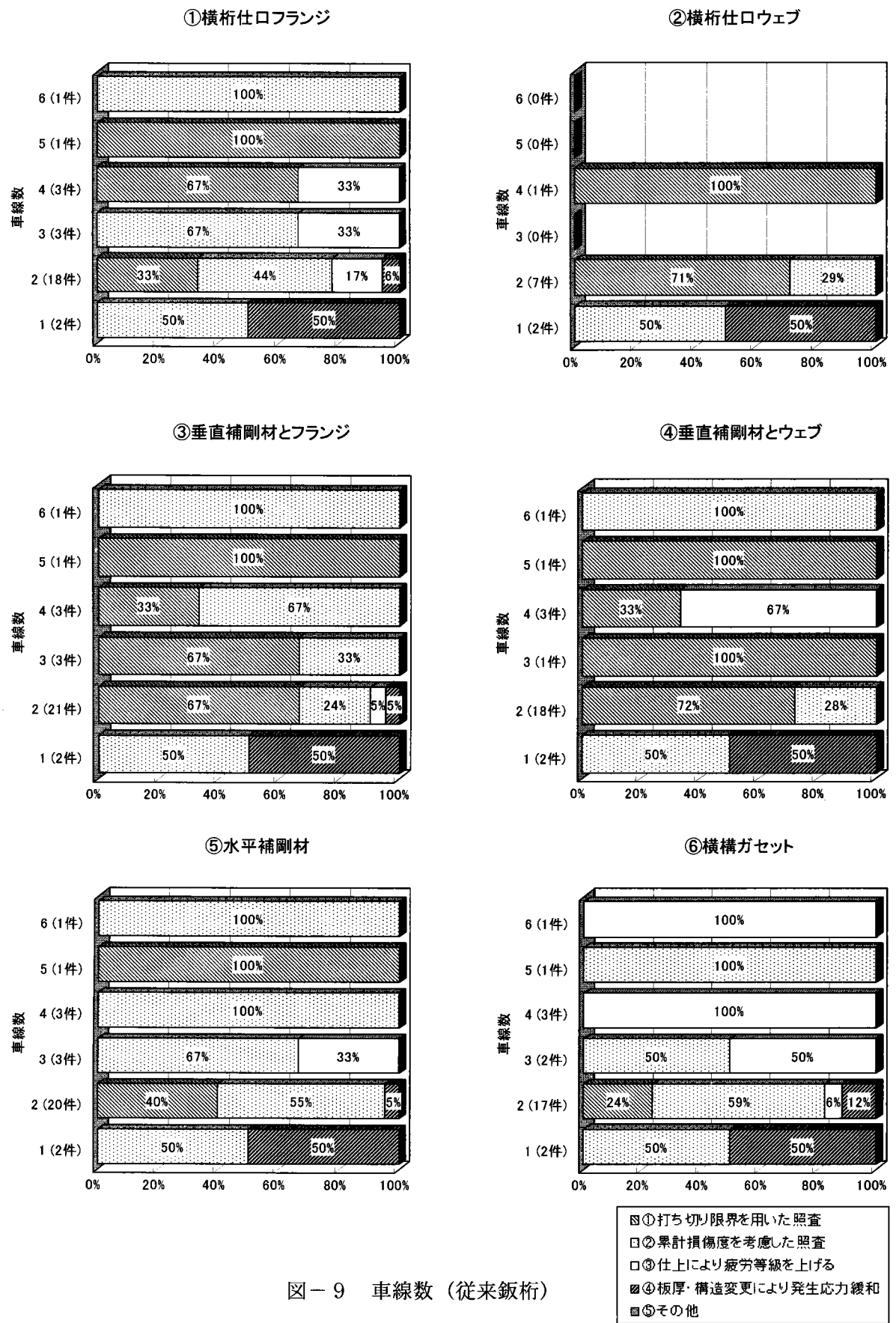
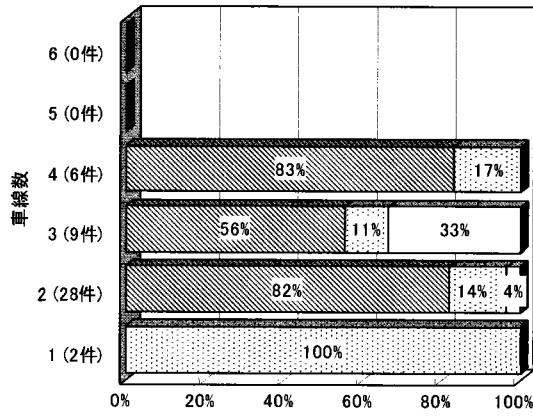
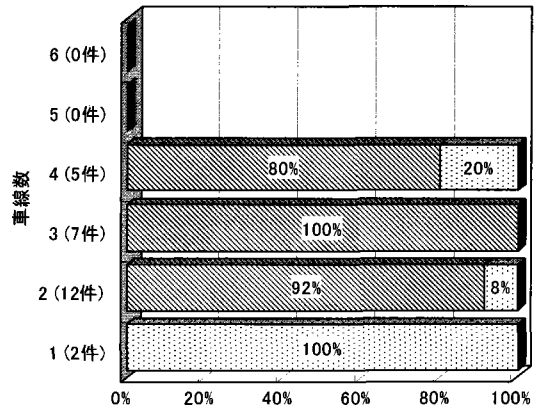


図-9 車線数 (従来鋼桁)

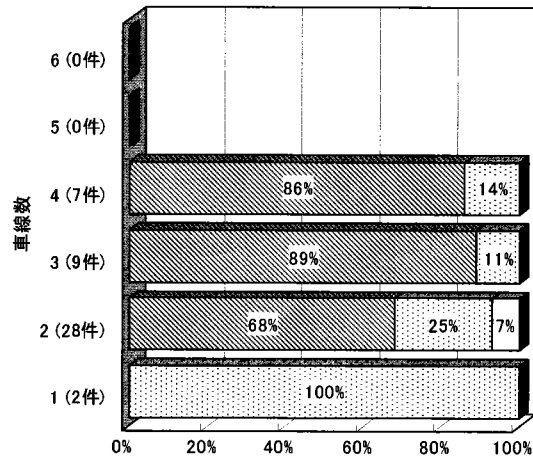
①横桁仕ロフランジ



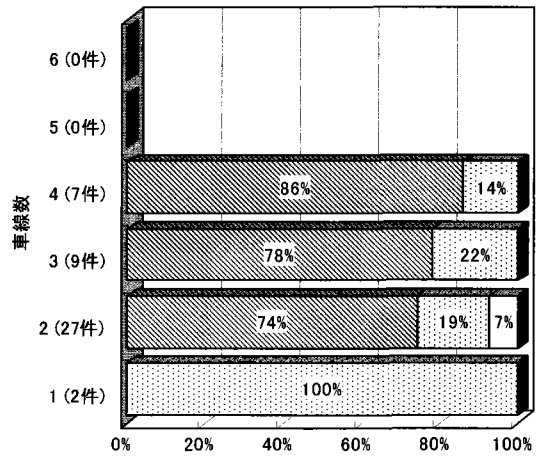
②横桁仕ロウェブ



③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材

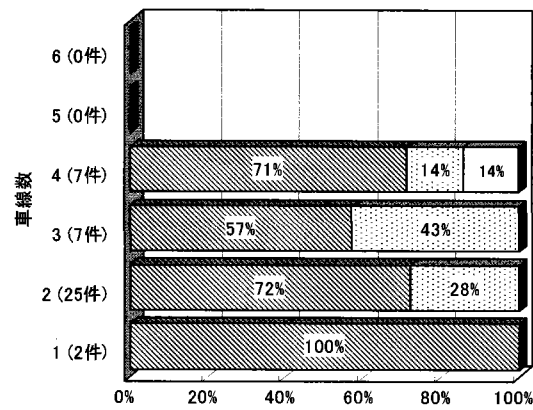


図-10 車線数 (少数主桁)

- ① 打ち切り限界を用いた照査
- ② 累計損傷度を考慮した照査
- ③ 仕上により疲労等級を上げる
- ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤ その他

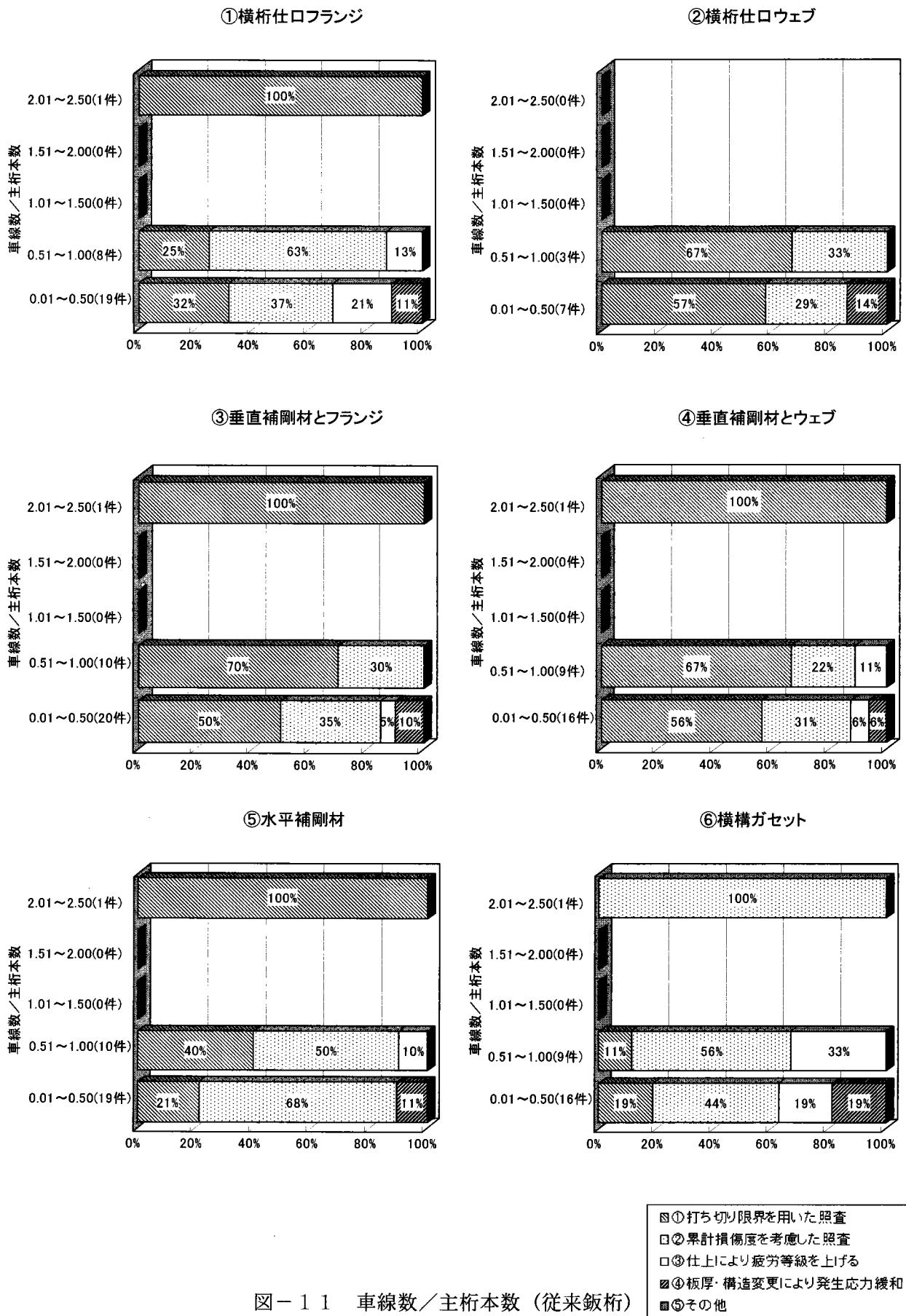
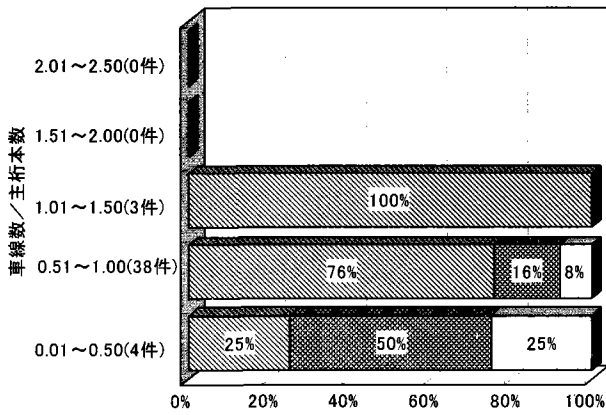
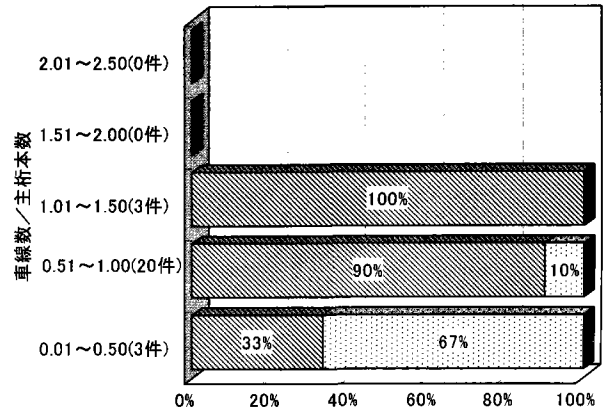


図-11 車線数/主桁本数 (従来鋼桁)

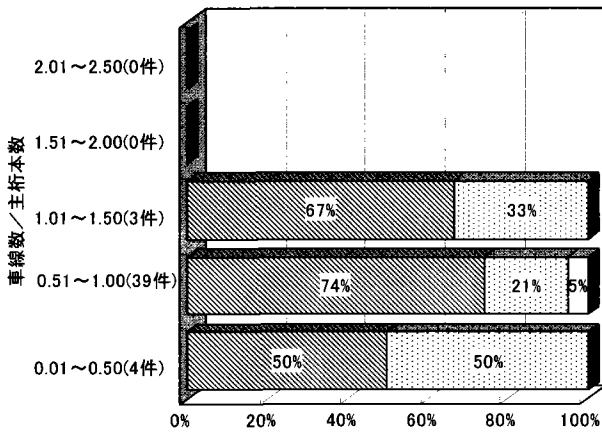
①横桁仕口フランジ



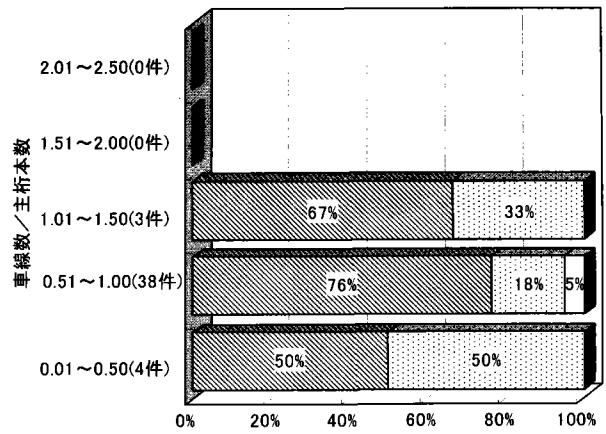
②横桁仕口ウェブ



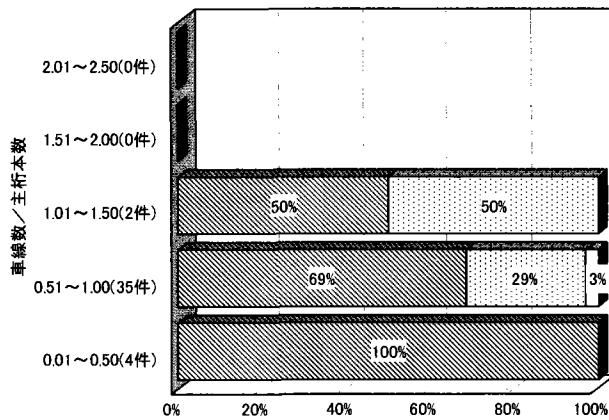
③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



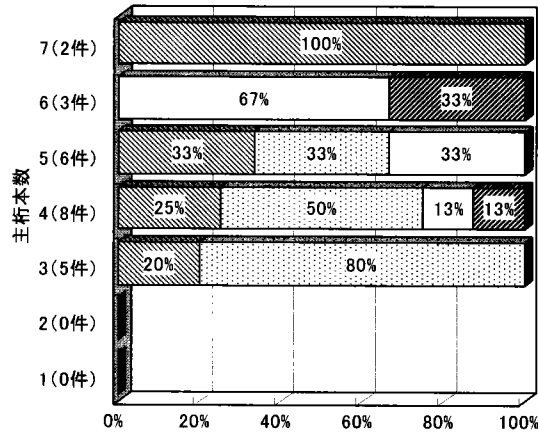
⑤水平補剛材



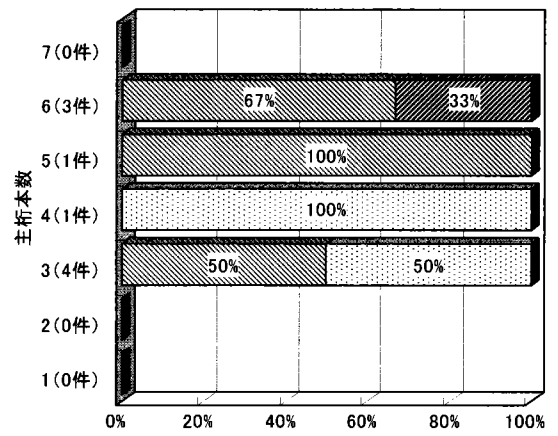
- ① 打ち切り限界を用いた照査
- ② 累計損傷度を考慮した照査
- ③ 仕上により疲労等級を上げる
- ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤ その他

図-12 車線数/主桁本数 (少数主桁)

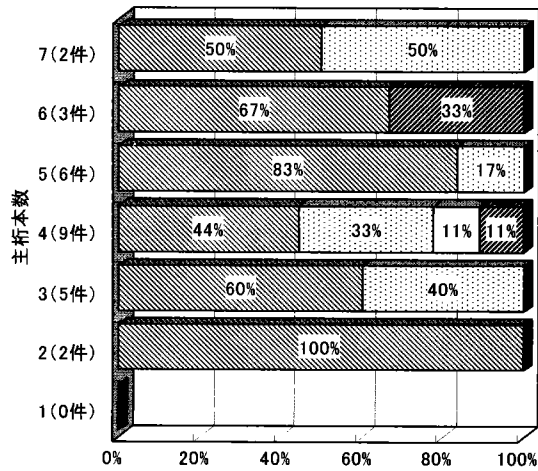
①横桁仕ロフランジ



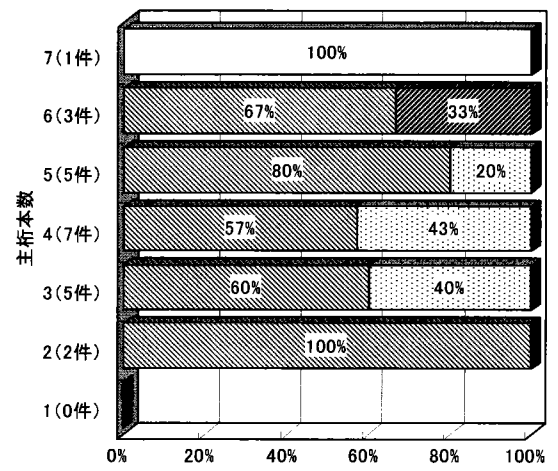
②横桁仕ロウェブ



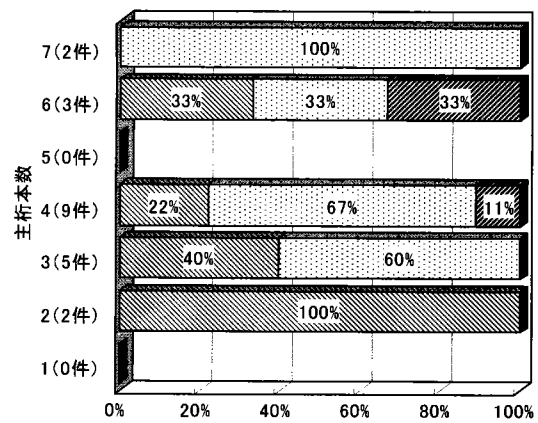
③垂直補剛材とフランジ



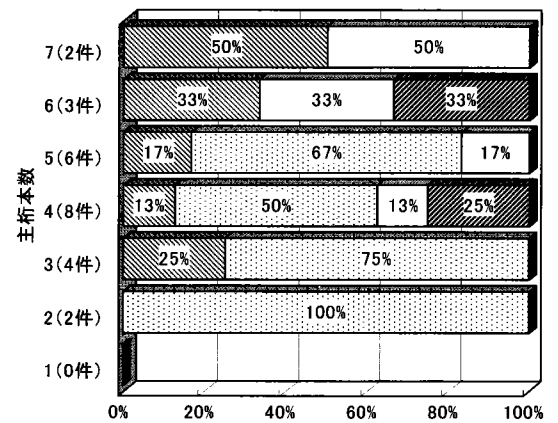
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



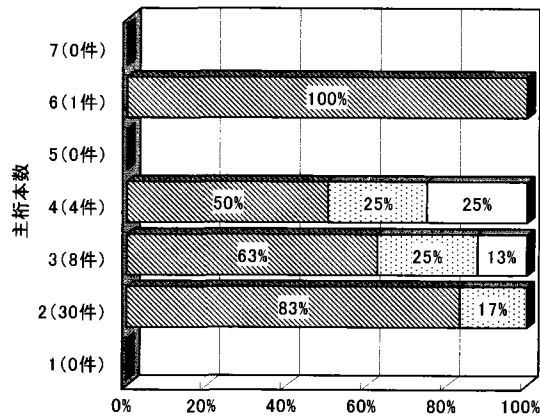
⑥横構ガセット



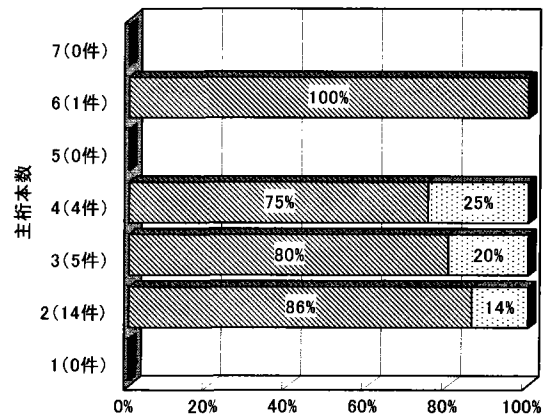
① 打ち切り限界を用いた照査
 ② 累計損傷度を考慮した照査
 ③ 仕上により疲労等級を上げる
 ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
 ⑤ その他

図-13 主桁本数 (従来鋼桁)

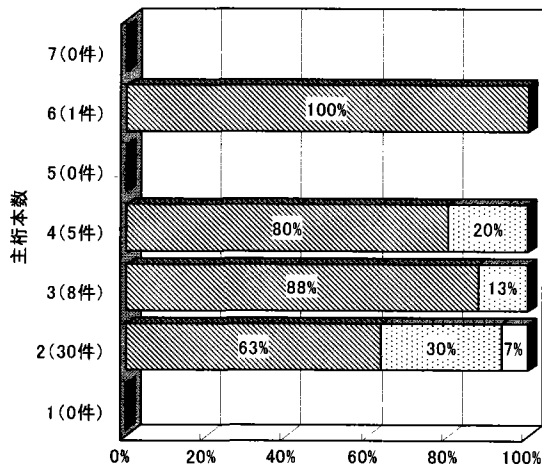
①横桁仕口フランジ



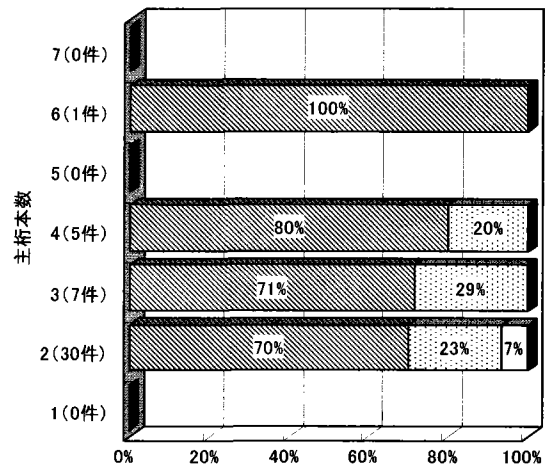
②横桁仕口ウェブ



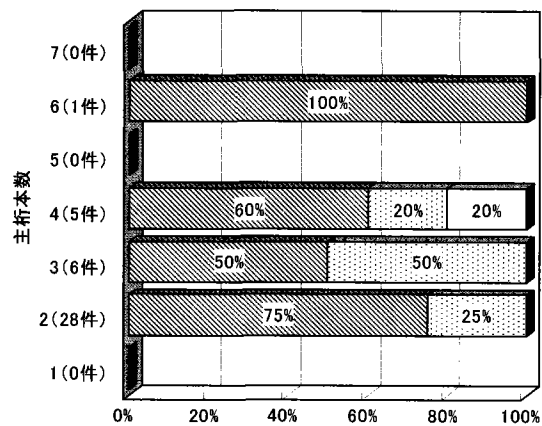
③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



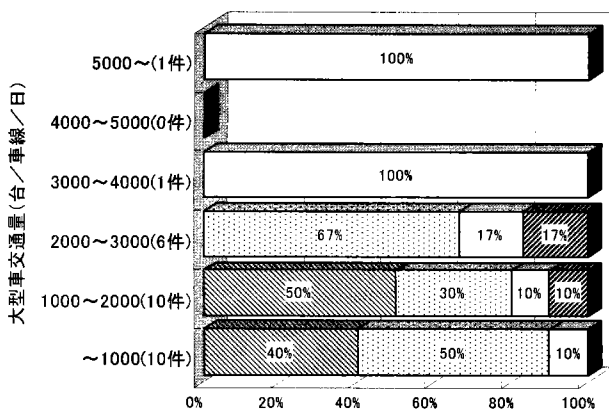
⑤水平補剛材



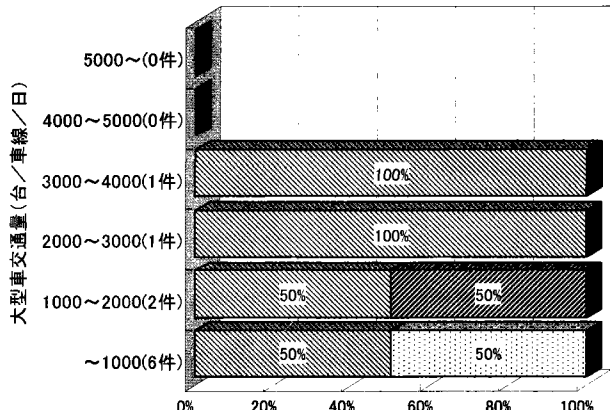
- ① 打ち切り限界を用いた照査
- ② 累計損傷度を考慮した照査
- ③ 仕上により疲労等級を上げる
- ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤ その他

図-14 主桁本数 (少数主桁)

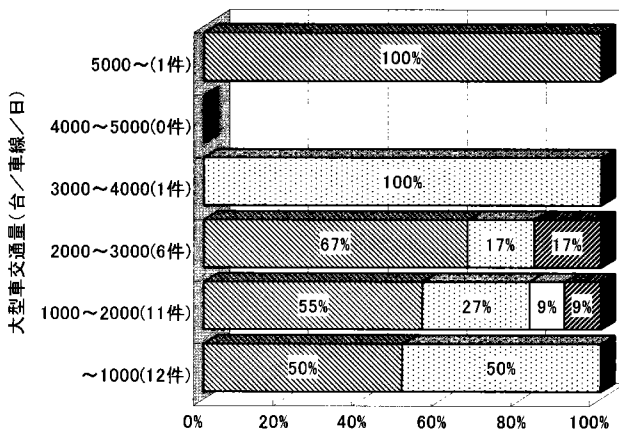
①横桁仕ロフランジ



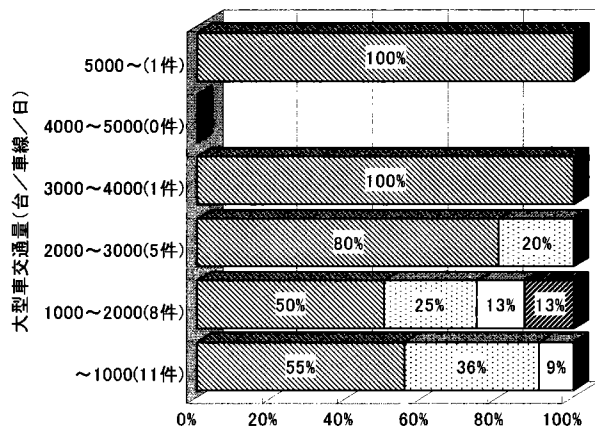
②横桁仕ロウェブ



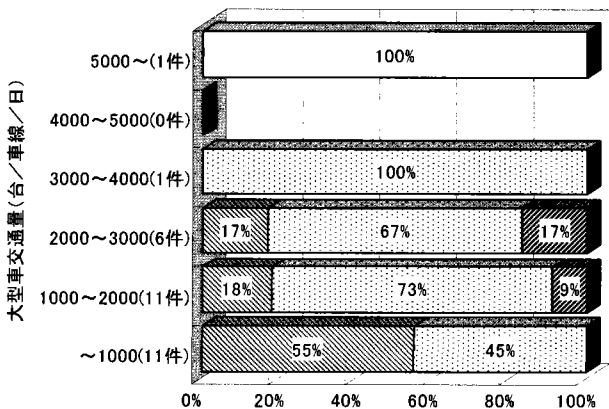
③垂直補剛材とフランジ



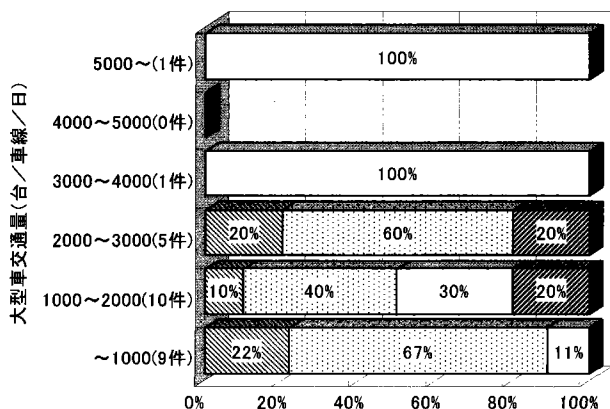
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



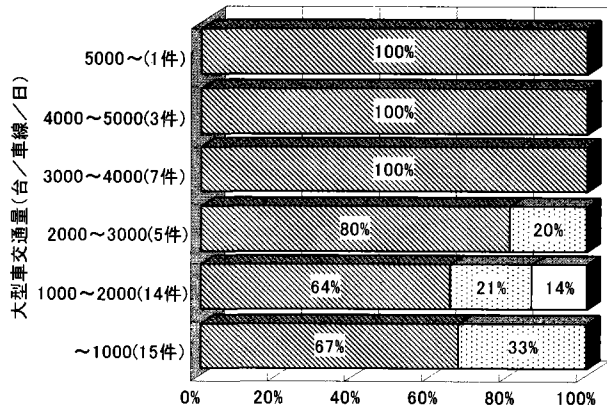
⑥横構ガセット



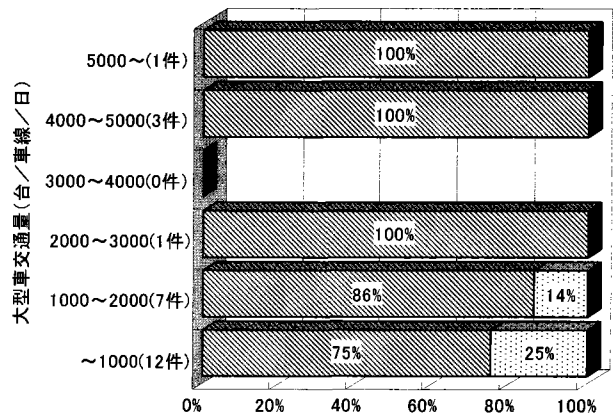
① 打ち切り限界を用いた照査
 ② 累計損傷度を考慮した照査
 ③ 仕上により疲労等級を上げる
 ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
 ⑤ その他

図-15 大型車交通量 (従来鉸桁)

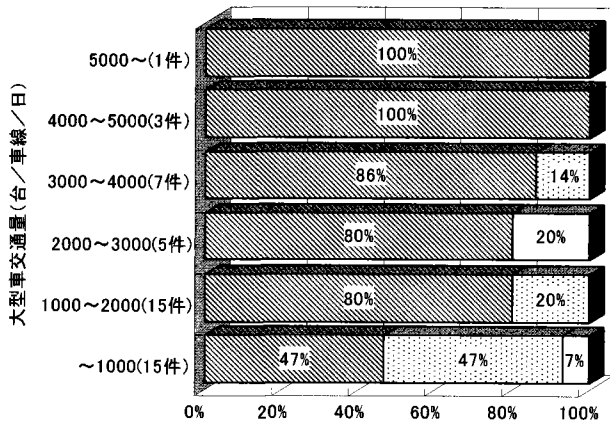
①横桁仕口フランジ



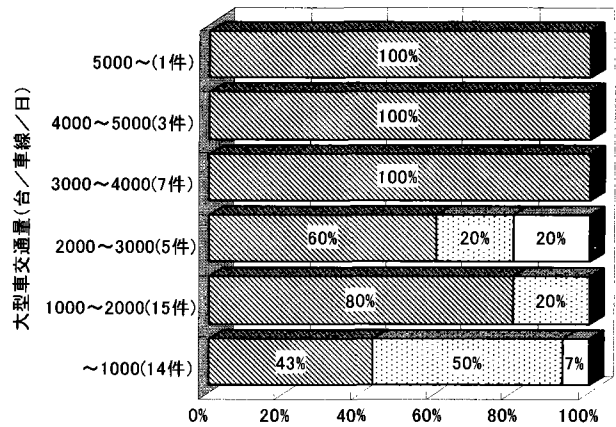
②横桁仕口ウェブ



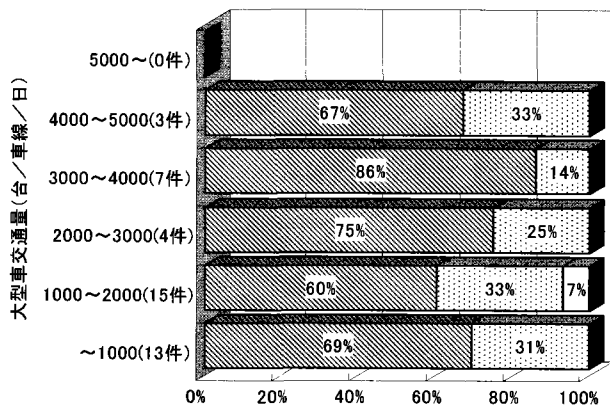
③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



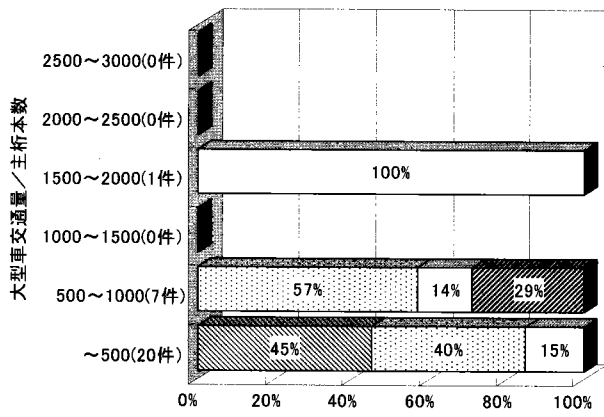
⑤水平補剛材



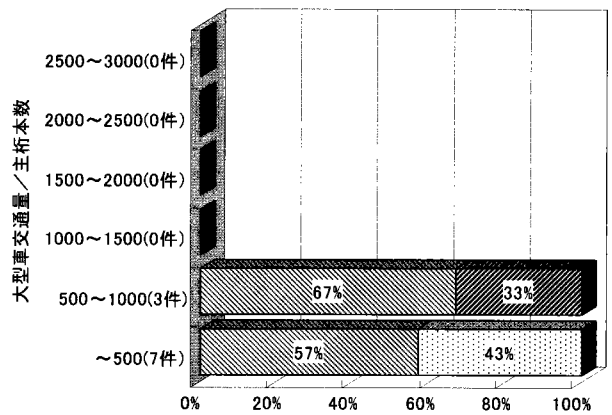
- ① 打ち切り限界を用いた照査
- ② 累計損傷度を考慮した照査
- ③ 仕上により疲労等級を上げる
- ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤ その他

図-16 大型車交通量 (少数主桁)

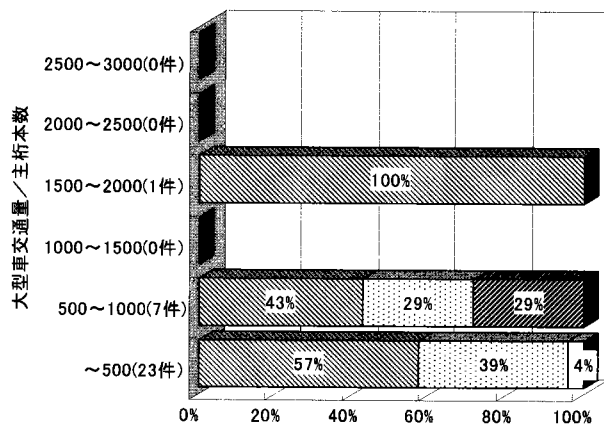
①横桁仕ロフランジ



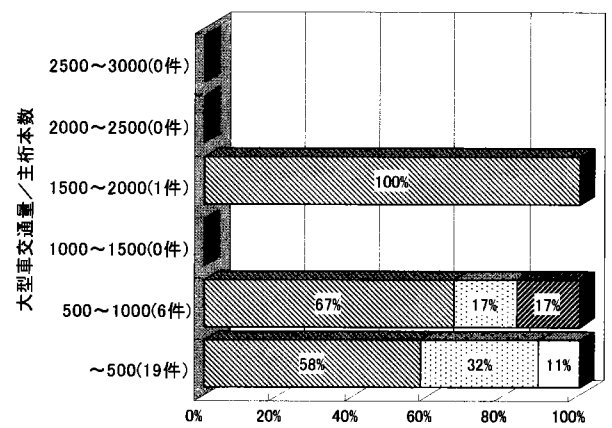
②横桁仕ロウェブ



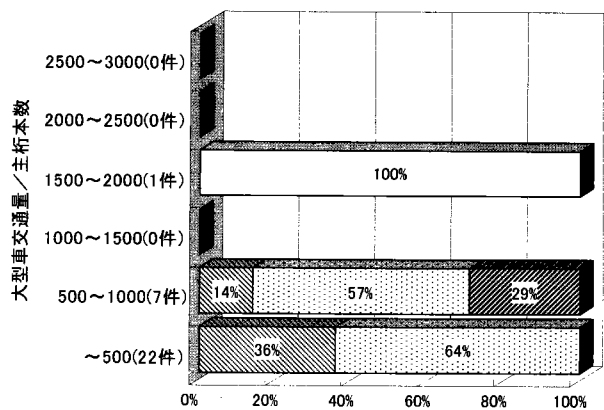
③垂直補剛材とフランジ



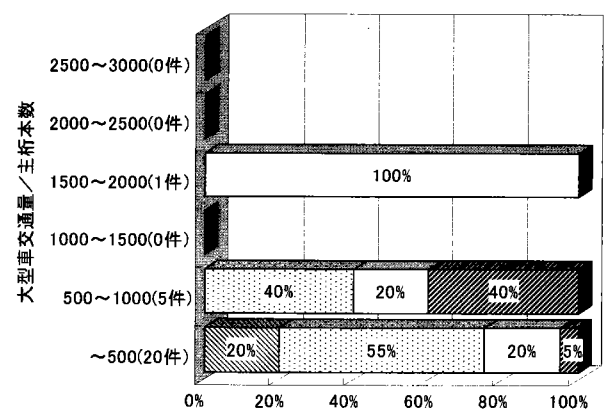
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



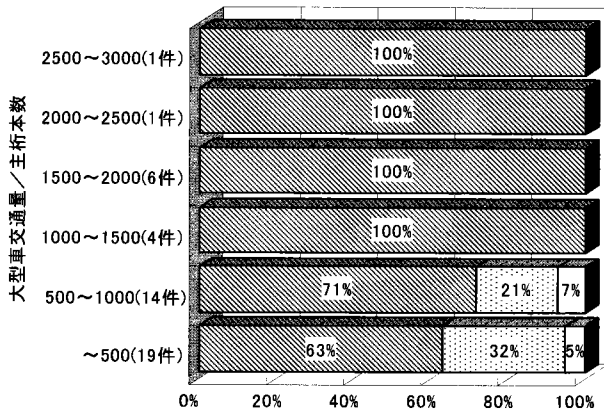
⑥横構ガセット



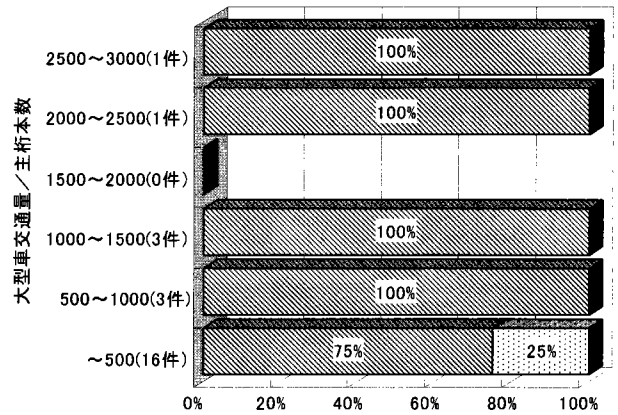
① 打ち切り限界を用いた照査
 ② 累計損傷度を考慮した照査
 ③ 仕上により疲労等級を上げる
 ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
 ⑤ その他

図-17 大型車交通量/主桁本数 (従来鋼桁)

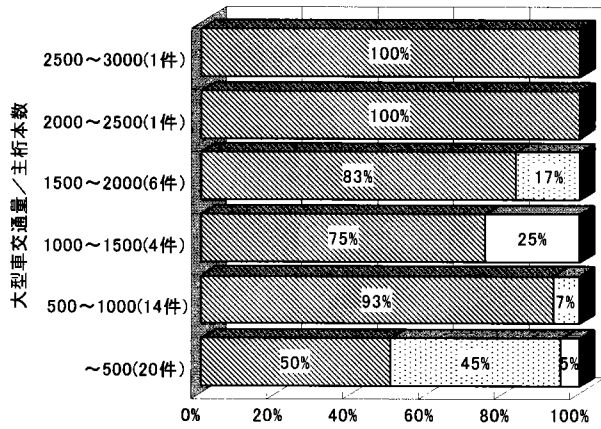
①横桁仕口フランジ



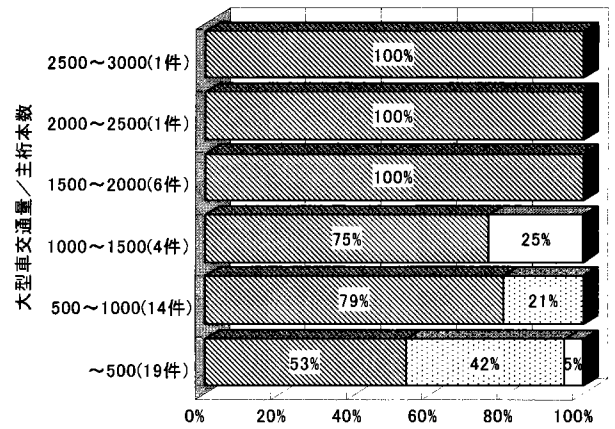
②横桁仕口ウェブ



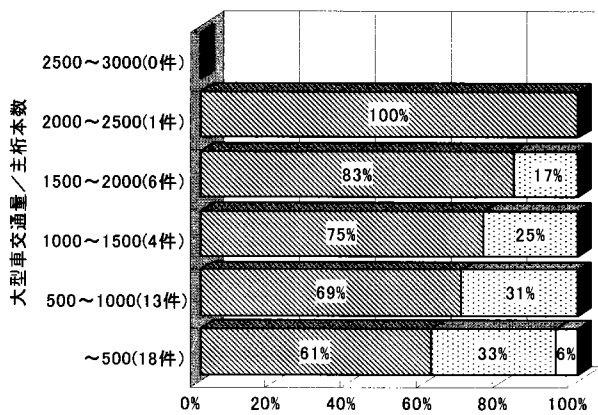
③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



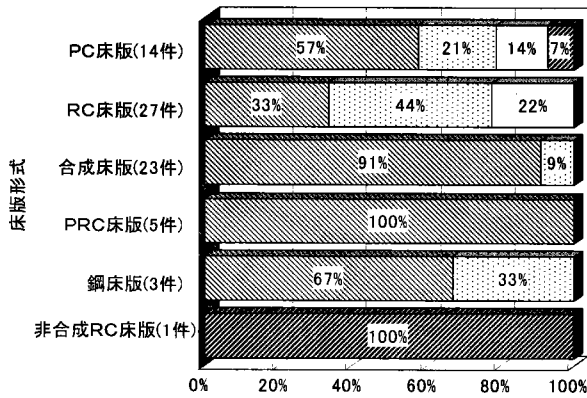
⑤水平補剛材



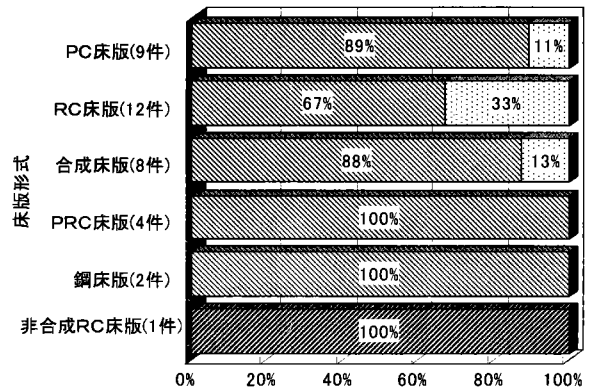
- ☒①打ち切り限界を用いた照査
- ☐②累計損傷度を考慮した照査
- ☐③仕上により疲労等級を上げる
- ☒④板厚・構造変更により発生応力緩和
- ☐⑤その他

図-18 大型車交通量/主桁本数 (少数主桁)

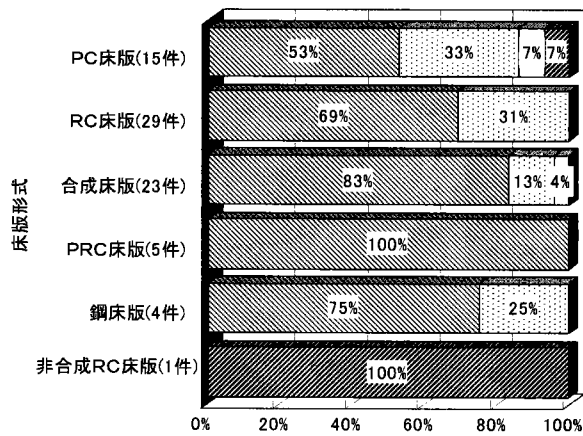
①横桁仕口フランジ



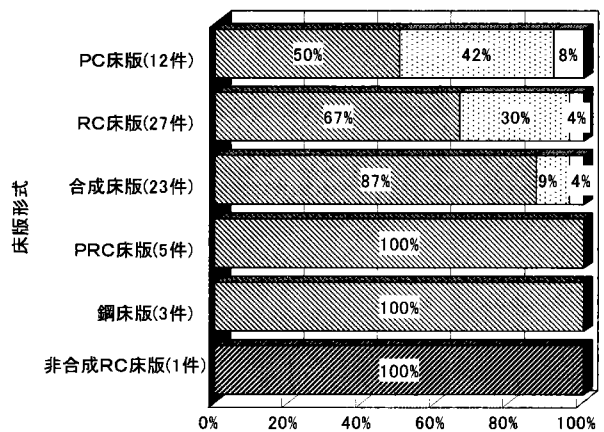
②横桁仕口ウェブ



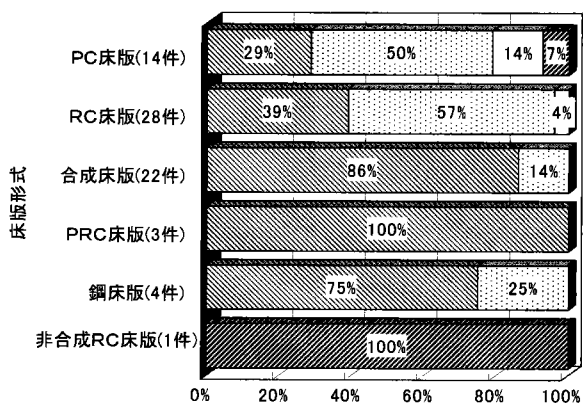
③垂直補剛材とフランジ



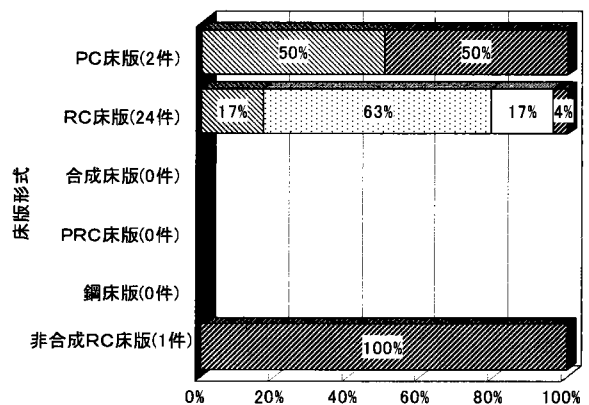
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



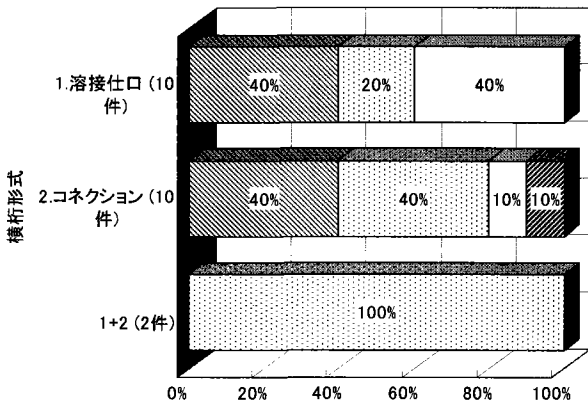
⑥横構ガセット



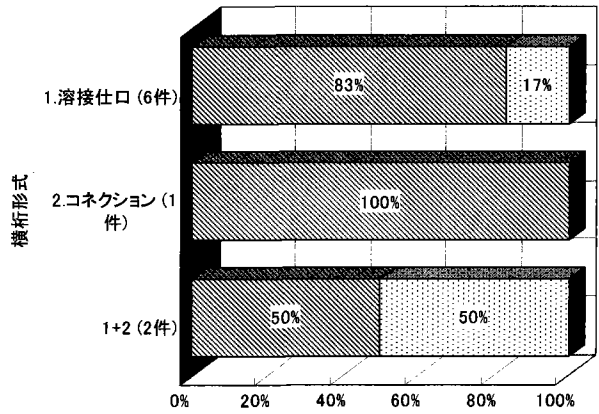
① 打ち切り限界を用いた照査
 ② 累計損傷度を考慮した照査
 ③ 仕上により疲労等級を上げる
 ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
 ⑤ その他

図-19 床版形式

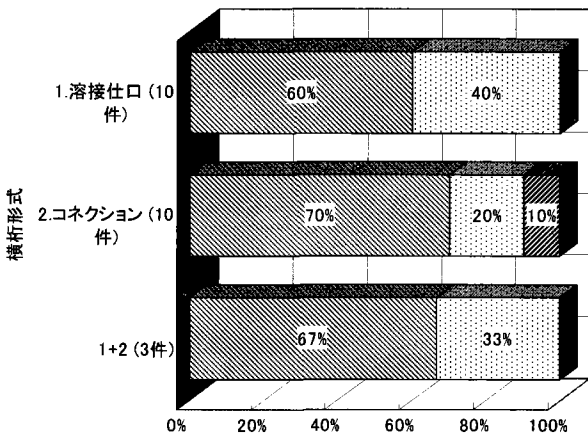
①横桁仕口フランジ



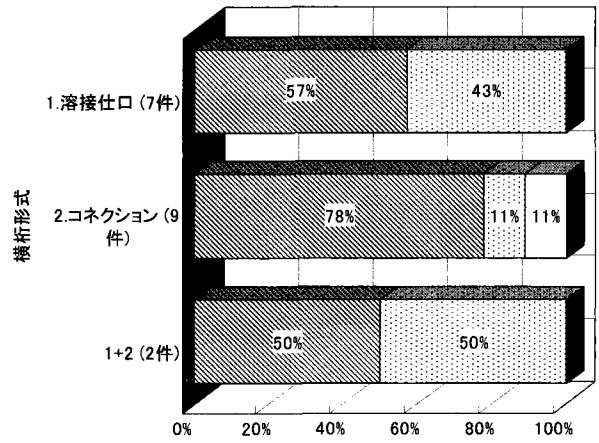
②横桁仕口ウェブ



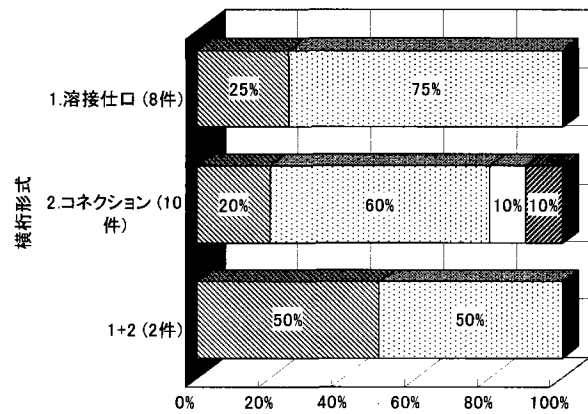
③垂直補剛材とフランジ



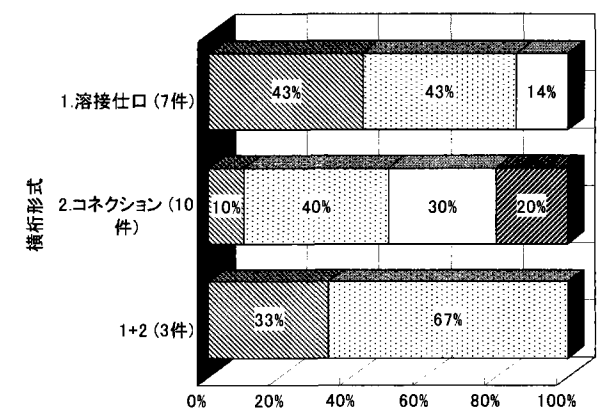
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



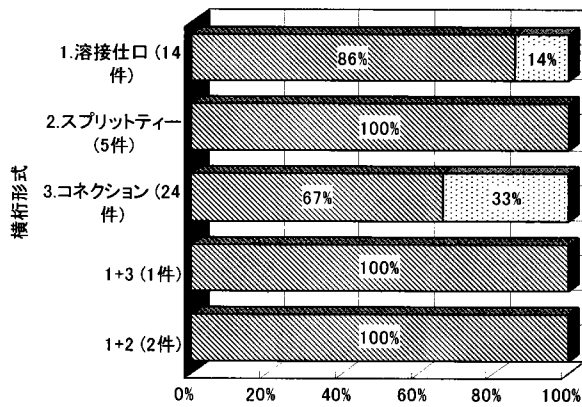
⑥横構ガセット



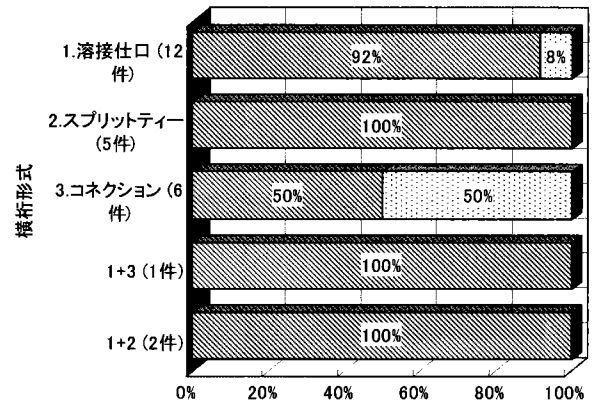
- ① 打ち切り限界を用いた照査
- ② 累計損傷度を考慮した照査
- ③ 仕上により疲労等級を上げる
- ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
- ⑤ その他

図-20 横桁形式 (従来鋼桁)

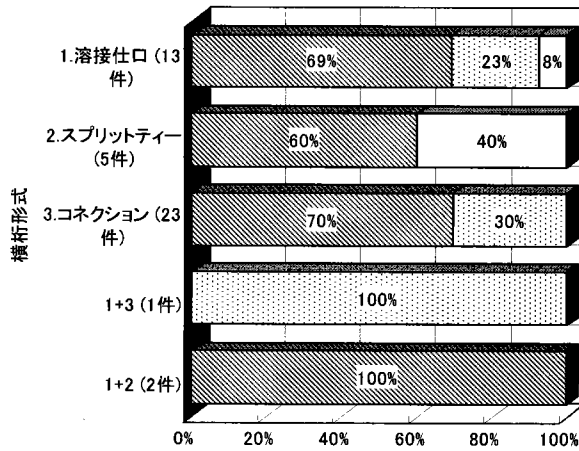
①横桁仕口フランジ



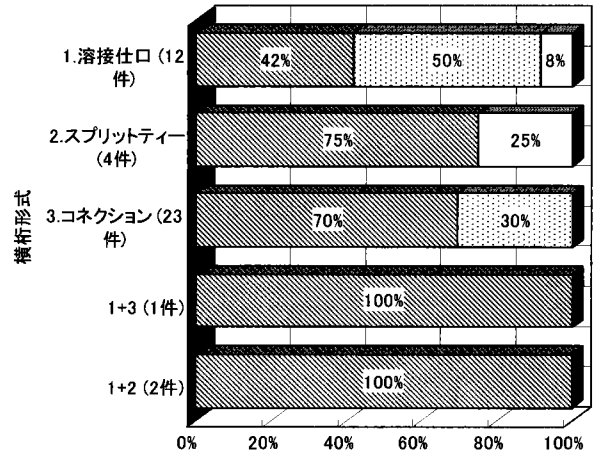
②横桁仕口ウェブ



③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材

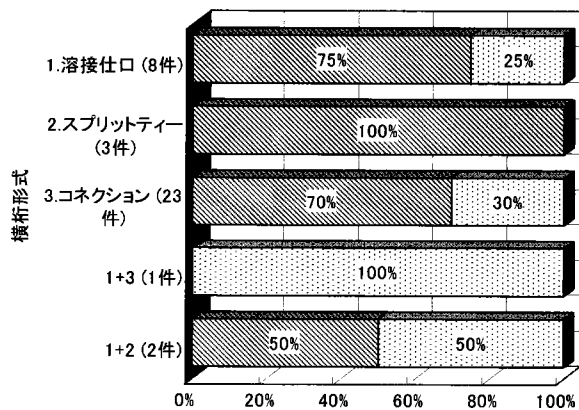
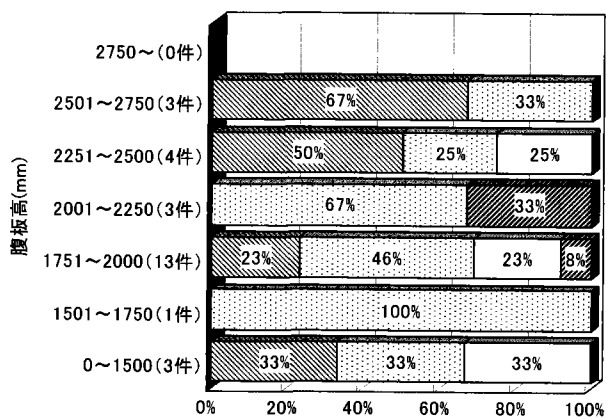


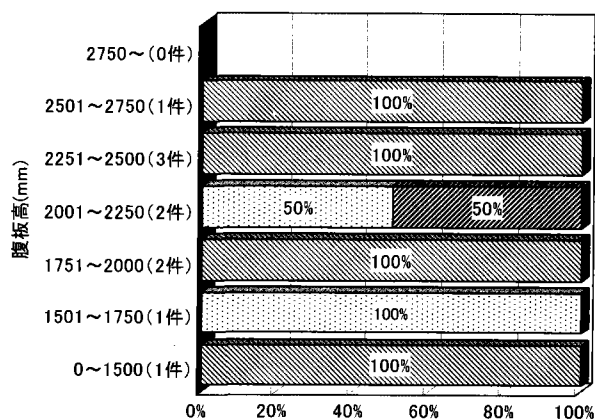
図-21 横桁形式 (少数主桁)

図①打ち切り限界を用いた照査
 図②累計損傷度を考慮した照査
 図③仕上により疲労等級を上げる
 図④板厚・構造変更により発生応力緩和
 図⑤その他

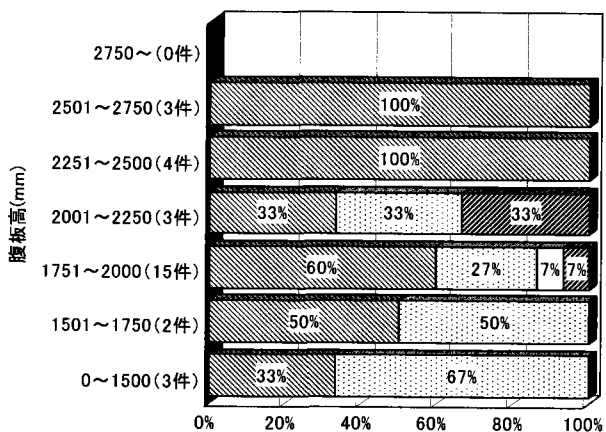
①横桁仕口フランジ



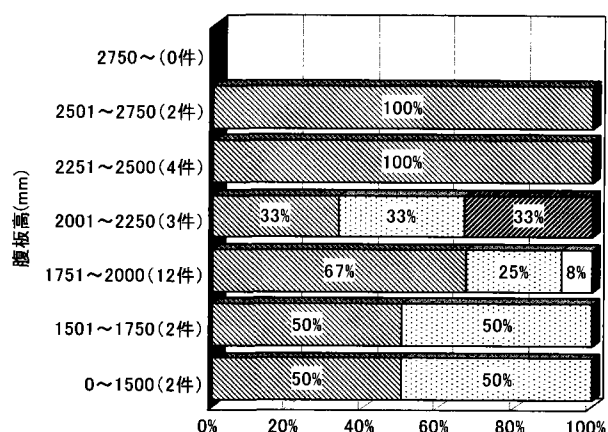
②横桁仕口ウェブ



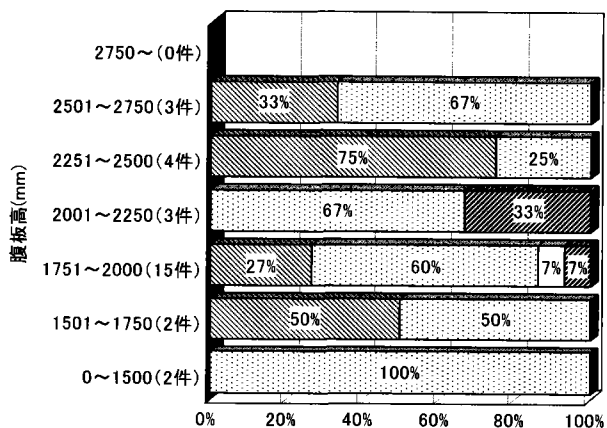
③垂直補剛材とフランジ



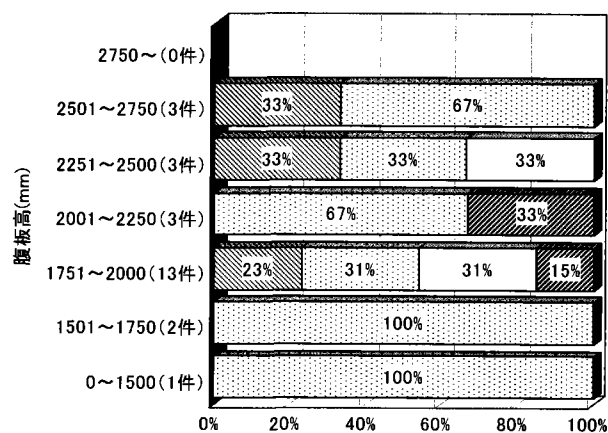
④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



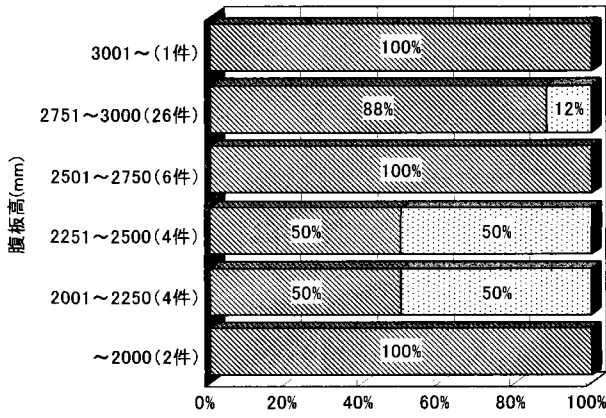
⑥横構ガセット



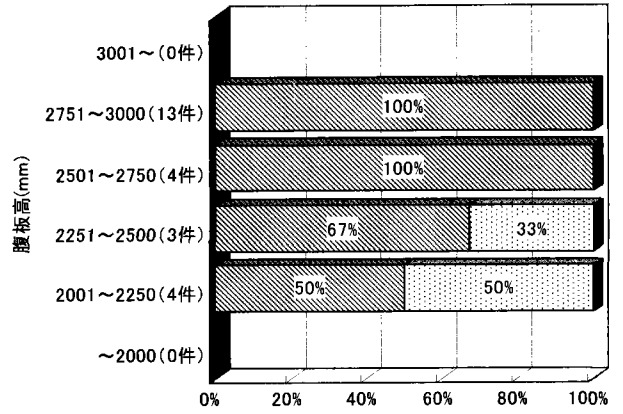
① 打ち切り限界を用いた照査
 ② 累計損傷度を考慮した照査
 ③ 仕上により疲労等級を上げる
 ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
 ⑤ その他

図-2.2 桁高（従来鉄桁）

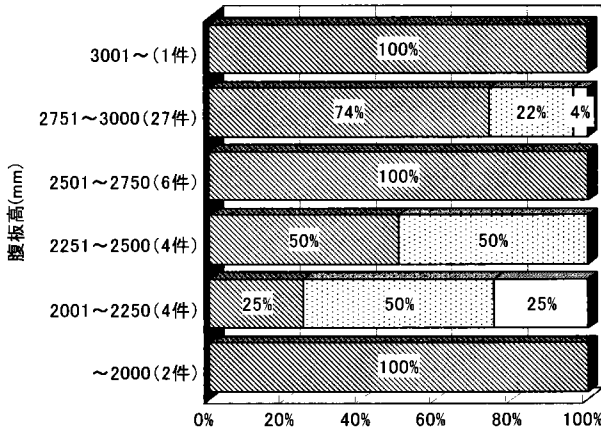
①横桁仕ロフランジ



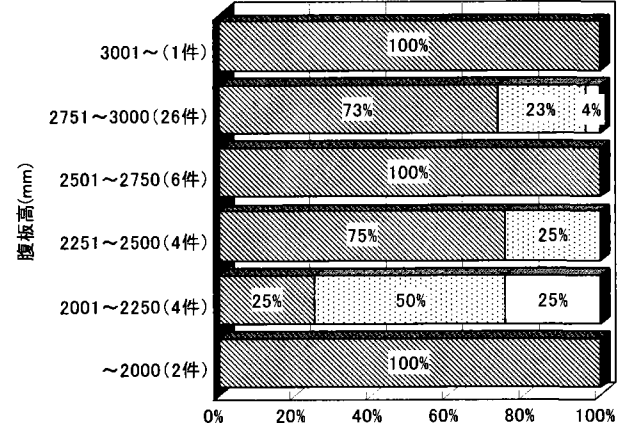
②横桁仕ロウェブ



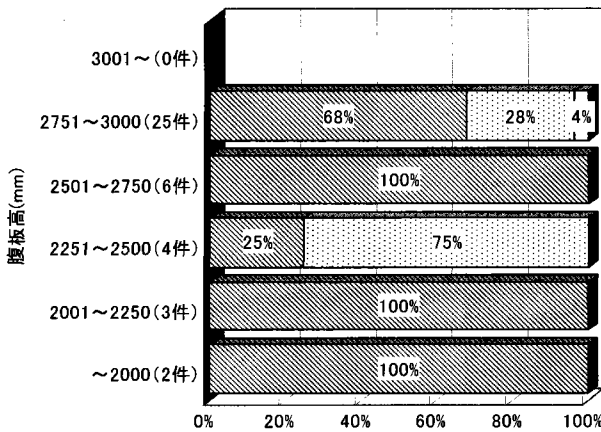
③垂直補剛材とフランジ



④垂直補剛材とウェブ



⑤水平補剛材



- ☒ ① 打ち切り限界を用いた照査
- ☐ ② 累計損傷度を考慮した照査
- ☐ ③ 仕上により疲労等級を上げる
- ☒ ④ 板厚・構造変更により発生応力緩和
- ☒ ⑤ その他

図-23 桁高(少数主桁)

2-3. まとめ

以下に2形式それぞれの照査結果に対する傾向（考察）を記述する。

(1) 従来鈹桁

従来鈹桁では、スパンが短いほど照査結果が厳しい傾向にあり、特に30m～40mでは板厚・構造変更による発生応力の緩和まで必要となっている。

また、幅員が狭い場合（12m前後）、1主桁当りの受け持つ車線数が少ない場合（主桁間隔が狭い場合）、横桁形式にコネクション形式を適用している場合において、同様に板厚・構造変更による発生応力の緩和まで必要となっている傾向が伺えた。

その他に、大型車交通量が多くなるにつれ厳しい傾向にあった。

(2) 少数主桁

従来鈹桁とは逆にスパンが長くなるにつれ厳しい傾向が伺えるが、一部仕上げによる改善が必要なものの板厚・構造変更までには至っていない（桁高比（スパン／桁高）が高くなるにつれ累積損傷度の照査まで至っている割合が高くなっている）。

また、主桁間隔（総幅員／主桁本数）の狭いものの方が照査結果が厳しい傾向にある。

2主桁橋の事例数が多いため一概には言えないが、3主桁以上の多主桁で照査結果が厳しい傾向にあること、PC床版を適用した橋梁で板厚・構造変更による発生応力の緩和まで必要となっており照査結果が厳しい傾向にあった。

(3) 考 察

従来鈹桁では、道示で示されるようにスパンが短ければT荷重による影響が大きくなるため厳しい結果が得られている。

これに対し少数鈹桁では逆の傾向が伺えたが、これは少補剛設計の適用により腹板の厚板化で水平補剛材も厚くなり疲労耐久性が低下することが考えられる。

また間接的な考察として、従来鈹桁では桁高比がL/17～L/18が多く、少数鈹桁ではL/16～L/17が多かったことや、主桁間隔（総幅員／主桁本数）が従来鈹桁では2.0m～3.0mが多く、少数鈹桁では5.0m～6.0mが多かった。

最近の傾向を裏付けるように少数鈹桁は2主桁橋が多く、長スパンかつ水平継ぎ手を設けない3.0mの桁高の事例が多いことも伺えた。

§ 3. 面外ガセット仕上げ効果の確認

3-1. 概要

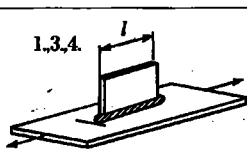
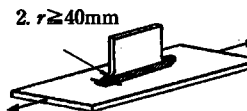
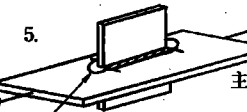
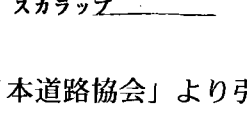
「疲労設計指針」によれば、“面外ガセット溶接継手”の疲労強度等級が特に低い継手構造であり、疲労による亀裂・損傷の発生事例が多く、補修・補強対策が増加していることを裏付けているものと思われる。

こうした中で、平成 14 年の道路橋示方書の改訂で疲労設計が義務づけられ、現在疲労設計を行った橋梁が徐々に竣工されている。

面外ガセットの主な用途としては、風荷重や地震荷重など横荷重に抵抗するための横構や横桁からの力を円滑に主桁へ伝達する役割や主桁間の相対的なたわみ差を許容する横桁（対傾構）を支える役割を担っており、重要かつ製作数が多い継手構造である。

疲労強度等級は、下表に示すように“3.ガセットをすみ肉溶接した継手 ($l > 100\text{mm}$)”と“4.ガセットを完全溶込み開先溶接した継手 ($l > 100\text{mm}$) (2)非仕上げ”とは溶接方法に違いがあるものの同じGランクに位置しており、応力集中を小さくするため、止端仕上げを行う完全溶込み溶接を施すことで1ランク等級の高いFランクとして対処している事例が多い。

(f)ガセット継手

継手の種類		強度等級 ($\Delta\sigma_f$ (N/mm^2))	備考
面外ガセット	1.ガセットをすみ肉溶接あるいは完全溶込み開先溶接した継手 ($l \leq 100\text{mm}$)	(1)止端仕上げ E (80)	1,3,4 
	(2)非仕上げ	F (65)	
	2.フィレットを有するガセットを完全溶込み開先溶接した継手のフィレット部 (フィレット部仕上げ)	E (80)	2. $r \geq 40\text{mm}$ 
	3.ガセットをすみ肉溶接した継手 ($l > 100\text{mm}$)	G (50)	
	4.ガセットを完全溶込み開先溶接した継手 ($l > 100\text{mm}$)	(1)止端仕上げ F (65)	5. 
(2)非仕上げ	G (50)		

「鋼道路橋の疲労設計指針 平成 14 年 3 月 (社) 日本道路協会」より引用

また、止端仕上げの範囲としては、次頁の図に示すように「日本道路公団設計要領第二集」に示されている 50mm の範囲の規定のみで、50mm=完全溶込み溶接=仕上げ範囲という条件で実施している事例が多いようであり、具体的な溶接範囲の区分けが明確となっておらず、製作の手間が大きい。

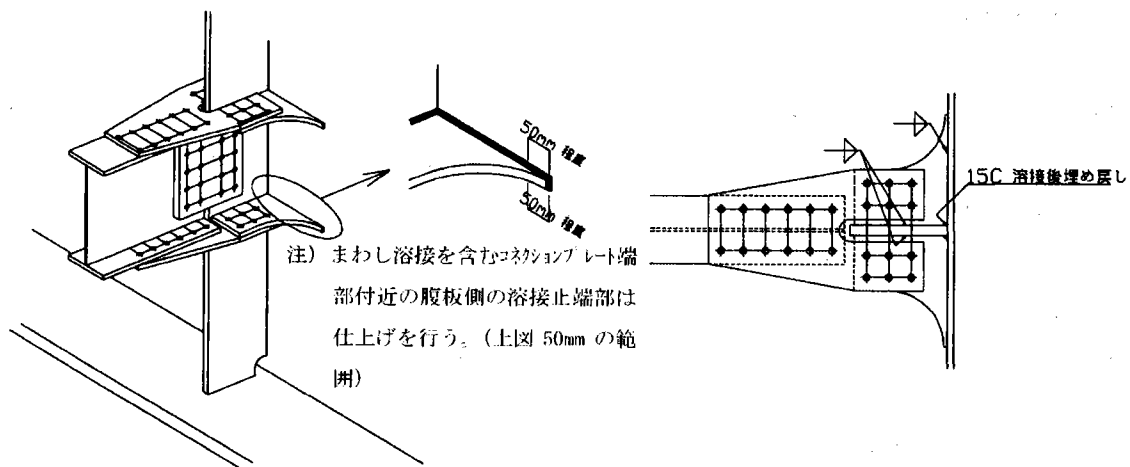


図 7-3-10 横桁接合構造例

「設計要領第二集 平成 10 年 7 月 日本道路公団」より引用

以上から、仕上げ範囲及びすみ肉溶接と完全溶込み溶接の溶接範囲について、FEM解析により検証する。

3-2. 解析モデル

解析モデルは、主桁ウェブとガセットプレートとの接合部を3次元ソリッドモデルとし、ガセットプレート、主桁ウェブ、溶接ビードを1/4モデルによりモデル化する。モデル化範囲は着目部から充分距離をとり応力分布が一定になると考えられる1×1mとし、着目部のメッシュサイズは0.5～1.0mm程度とした。解析ケースは、ケース1として事例が多いと思われる50mm＝フルペネ＝仕上げ範囲とし残りをすみ肉溶接とした場合、ケース2～4はケース1を基本に仕上げ範囲を徐々に短くした場合と仕上げ無しとした場合、ケース5はケース1の50mmを70mmとした場合、ケース6～7は全てすみ肉溶接とし仕上げを行った場合と行わない場合の全7ケースとした。フルペネ溶接の場合は、ガセットプレートと主桁ウェブの間は結合された状態（同一節点による剛結合）とし、すみ肉溶接の場合は、分離した状態（二重節点による分離）とする。解析モデルを図3-2-1、図3-2-2に、溶接部のディテールを図3-2-3に、図3-2-4～6にメッシュ分割図を示す。

なお、ガセット側面の面取り、止端部の仕上げ半径及び仕上げ有りから無しへのすり付けについては、過去の事例を踏まえ設定を行った。

表 3-2-1 解析ケース

ケース	溶接種類	フルペネ範囲	仕上げ範囲
1	フルペネ	50	50mm
2	フルペネ	50	30mm
3	フルペネ	50	10mm
4	フルペネ	50	仕上げなし
5	フルペネ	70	70mm
6	すみ肉		50mm
7	すみ肉		仕上げなし

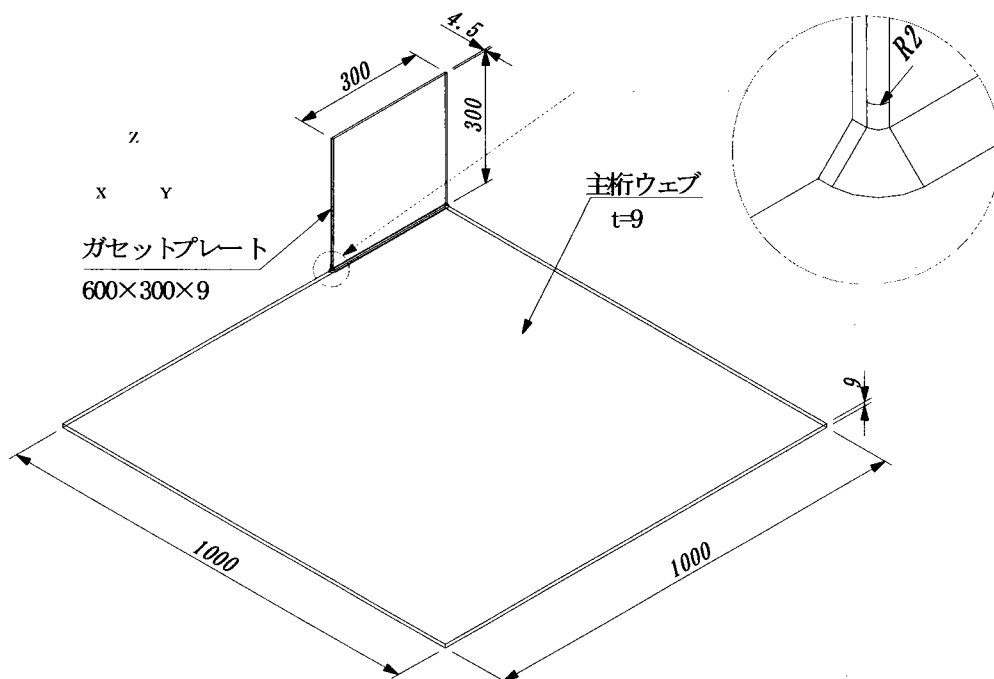


図 3-2-1 解析モデル

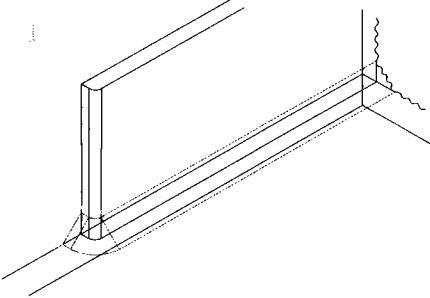
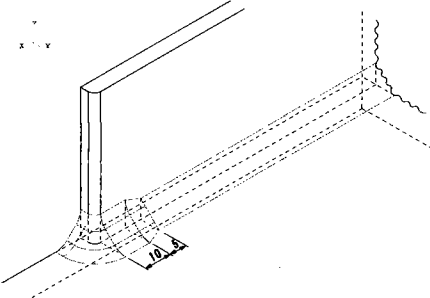
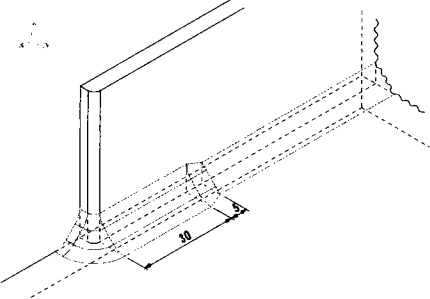
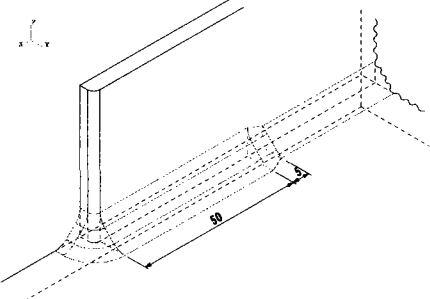
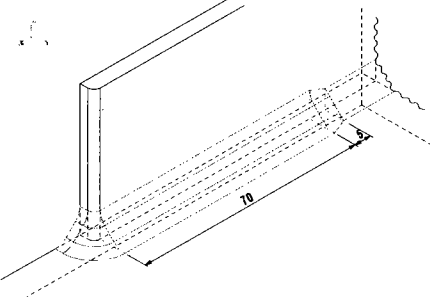
仕上げなし	
仕上げ 10mm	
仕上げ 30mm	
仕上げ 50mm	
仕上げ 70mm	

図 3-2-2 各ケースにおける溶接部のモデル化

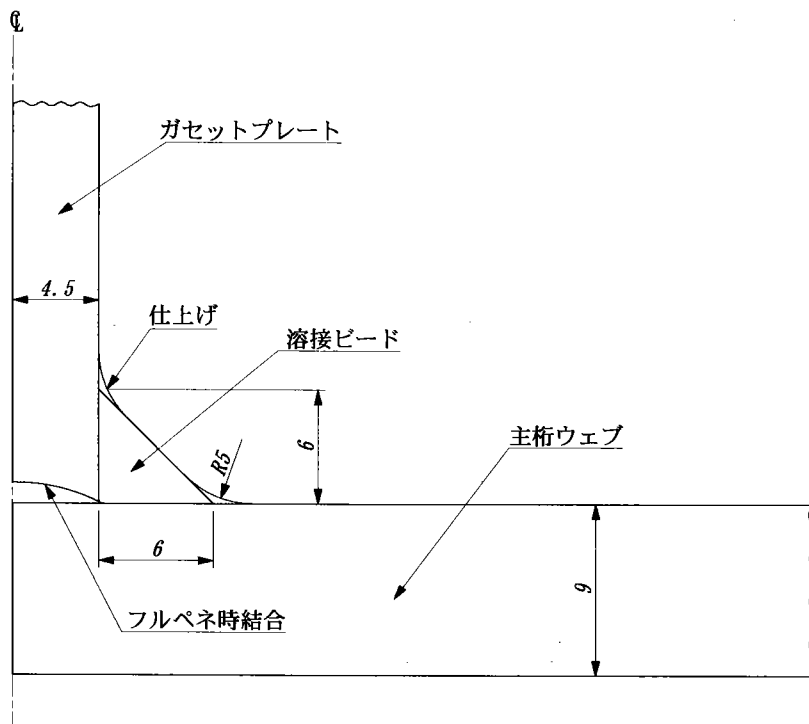


図 3-2-3 溶接部ディテール

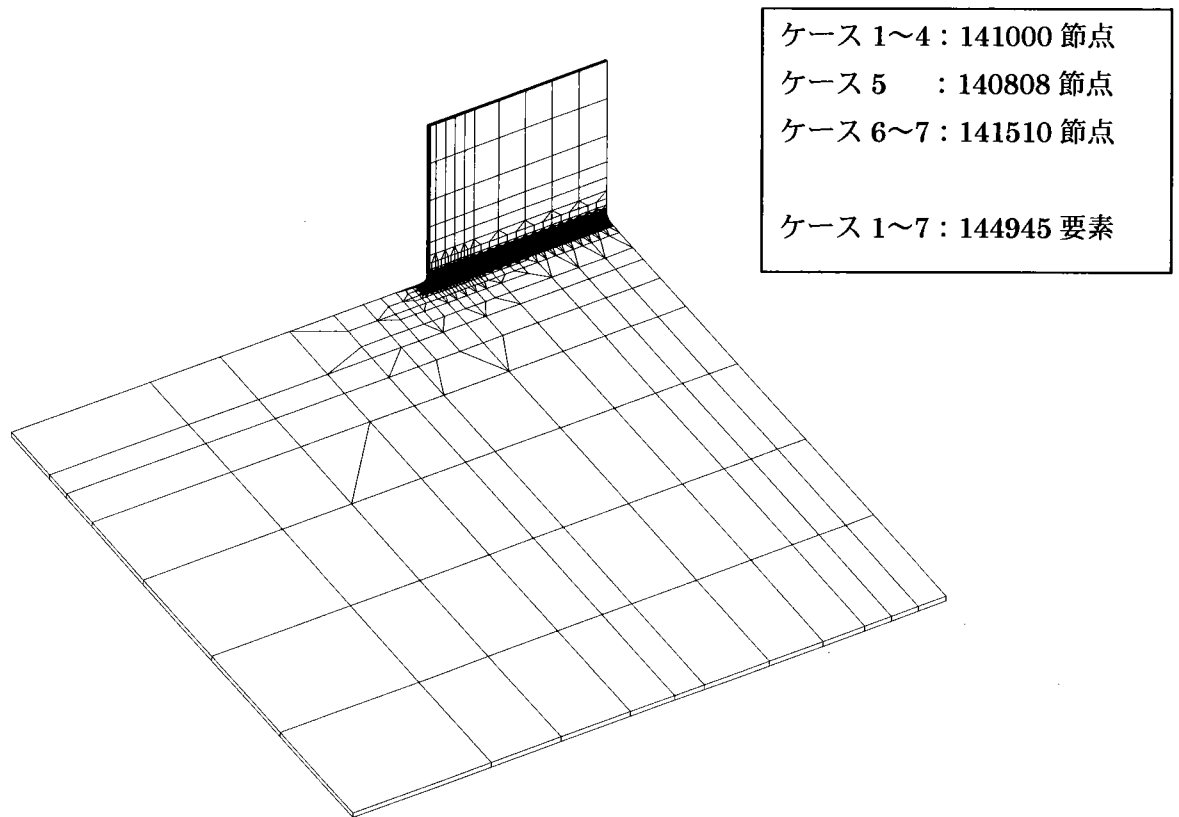


図 3-2-4 全体メッシュ分割図

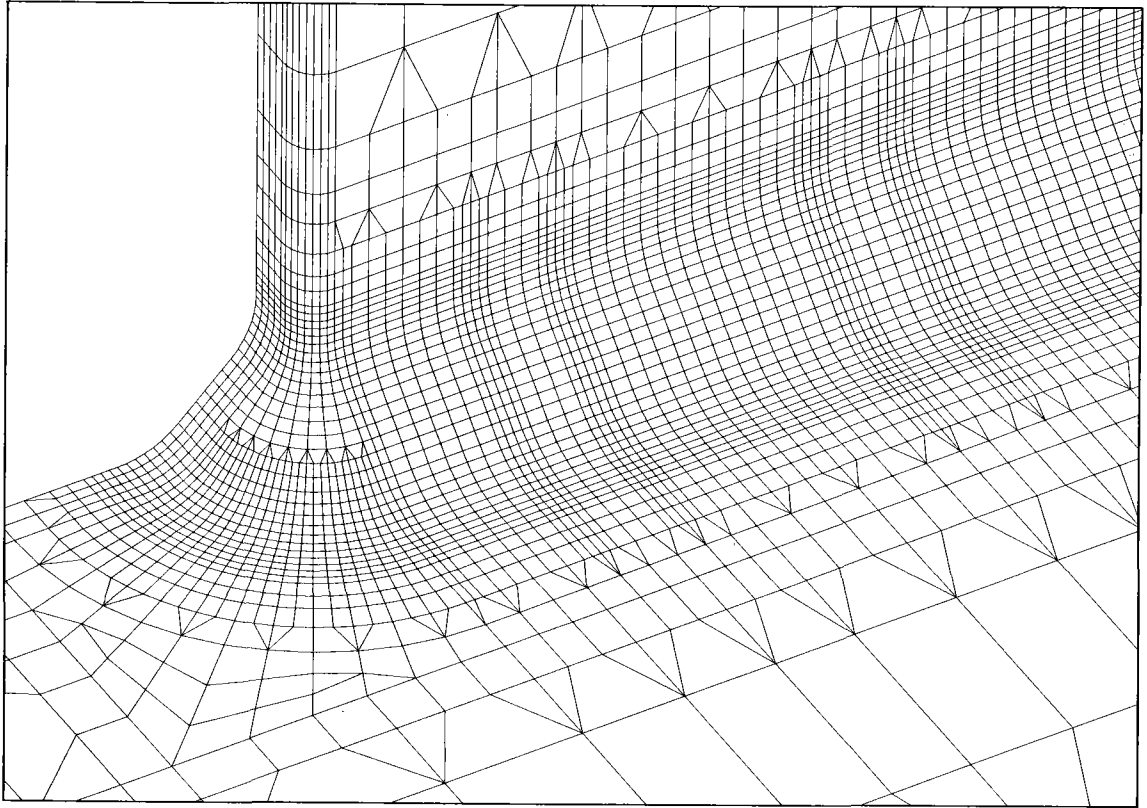


図 3-2-5 溶接部メッシュ分割 表面側

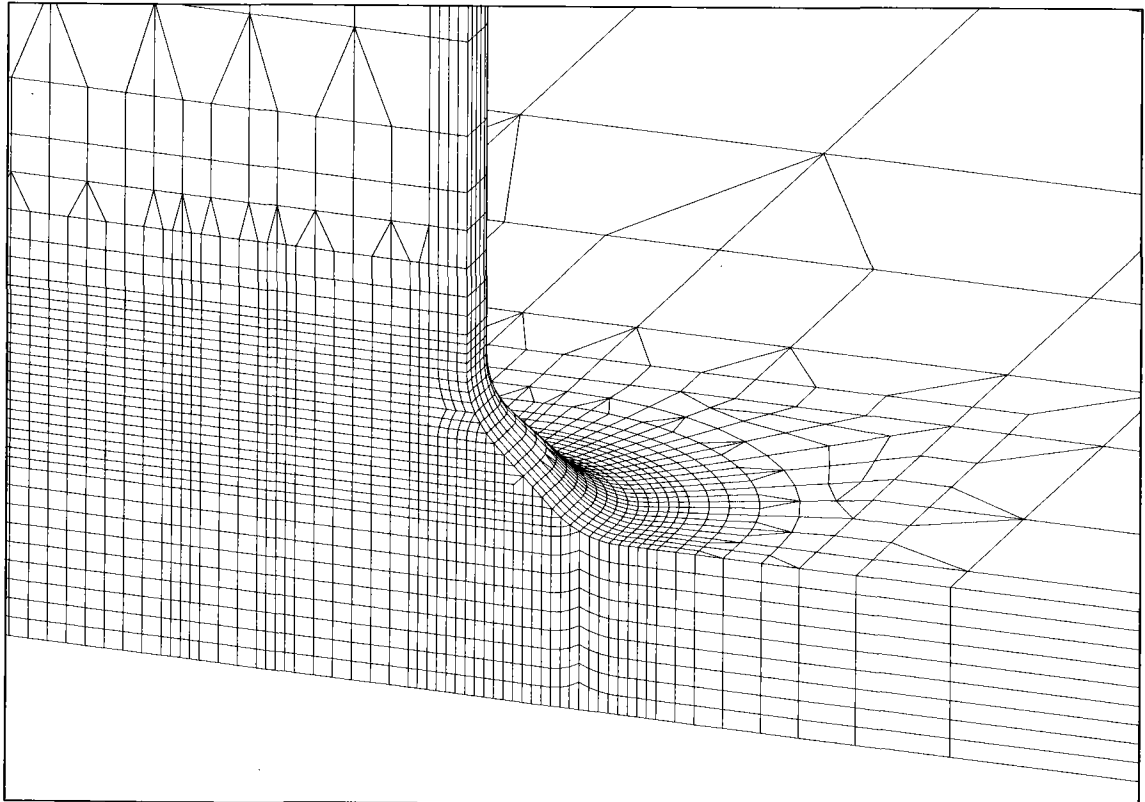


図 3-2-6 溶接部メッシュ分割 内面側

3-3. 解析条件

ガセットプレート側の主桁ウェブ端部を拘束し、反対側の主桁ウェブ端部に単位荷重を載荷する。境界条件、荷重条件を図 3-3-1 に示す。

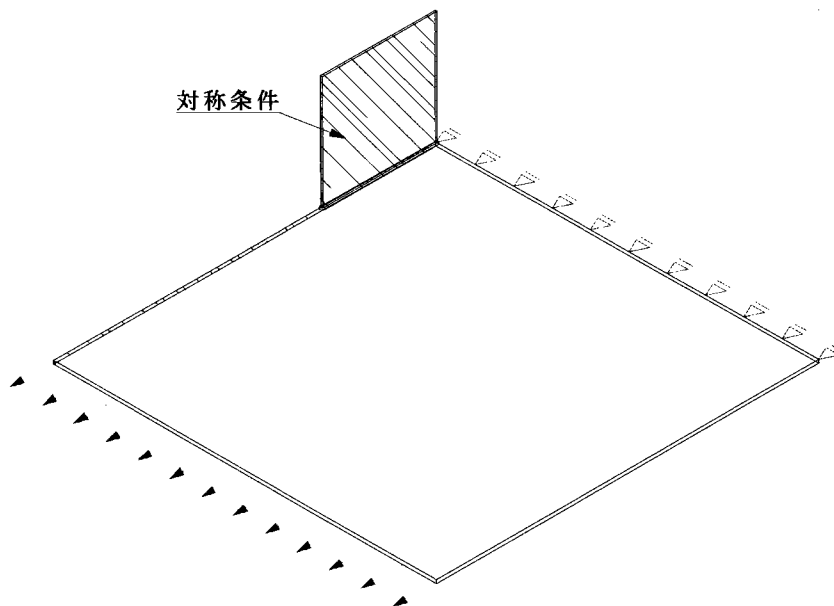


図 3-3-1 境界条件、荷重条件

3-4. 解析結果

本解析では、入力荷重を $1.0[\text{N}/\text{mm}^2]$ としているため、応力分布図、グラフ結果では VonMises の応力値を表示しているが、応力集中係数と等価である。

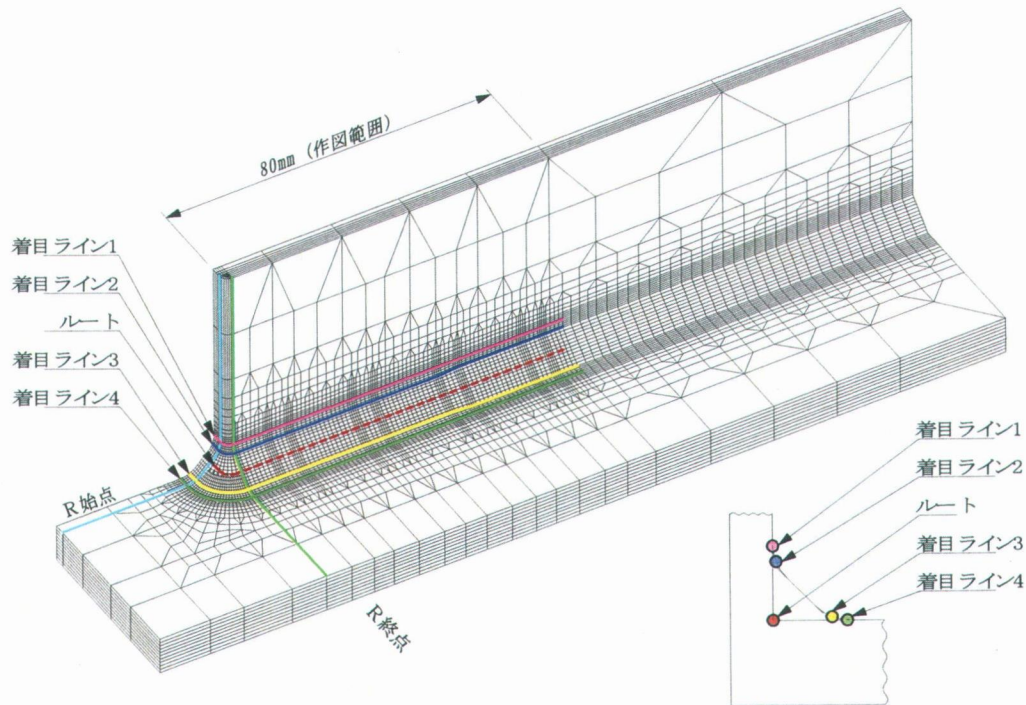


図 3-4-1 結果出力位置

解析結果の着目位置は上図に示すとおり、仕上げの端部であるライン 1 及びライン 4、脚長 6 mm の付け根であるライン 2 及びライン 3、フルペネからすみ肉溶接への変化の性状を把握するためのルート部を含めた計 5 ラインとした。

各ケースそれぞれの応力分布図と溶接方向の応力変化を示したグラフを図 3-4-2～図 3-4-15 に、各着目ライン毎の各ケースの応力性状の違いを示したグラフを図 3-4-16～図 3-4-20 に示す。

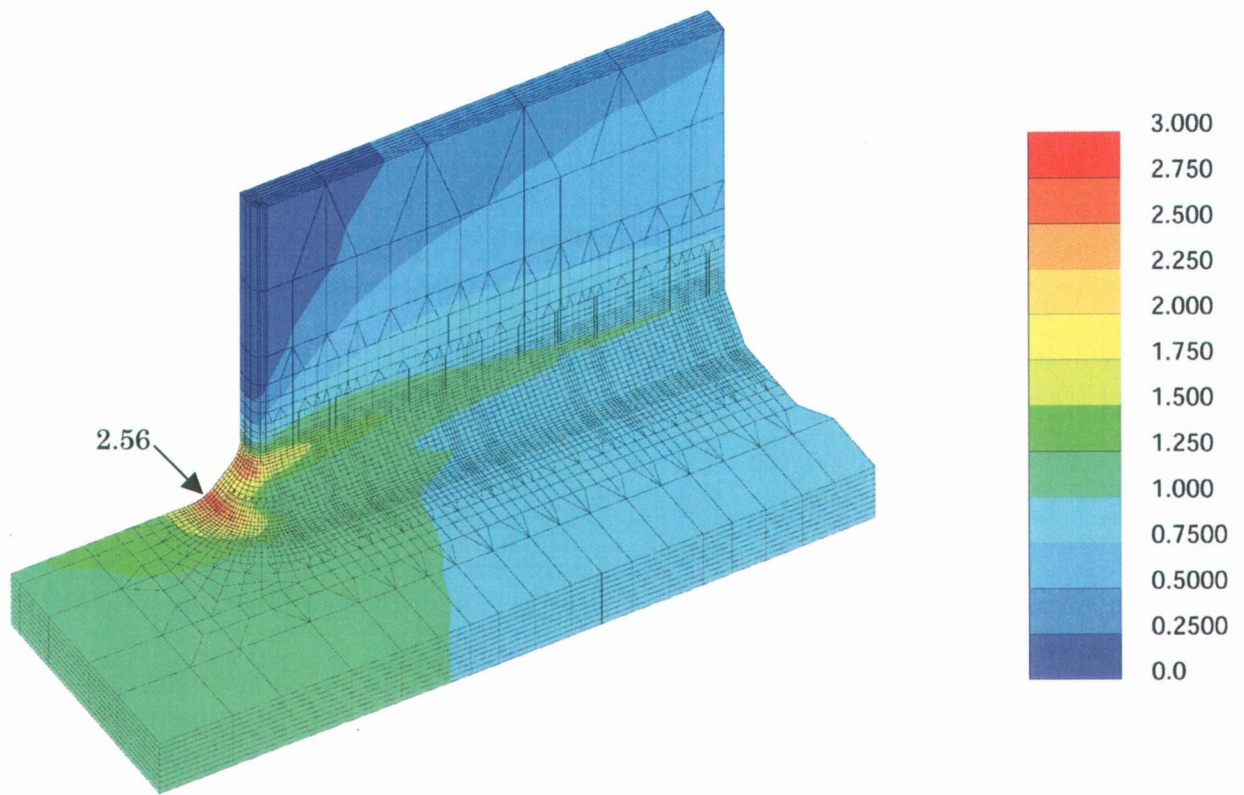


図 3-4-2 ケース 1 応力集中係数分布図

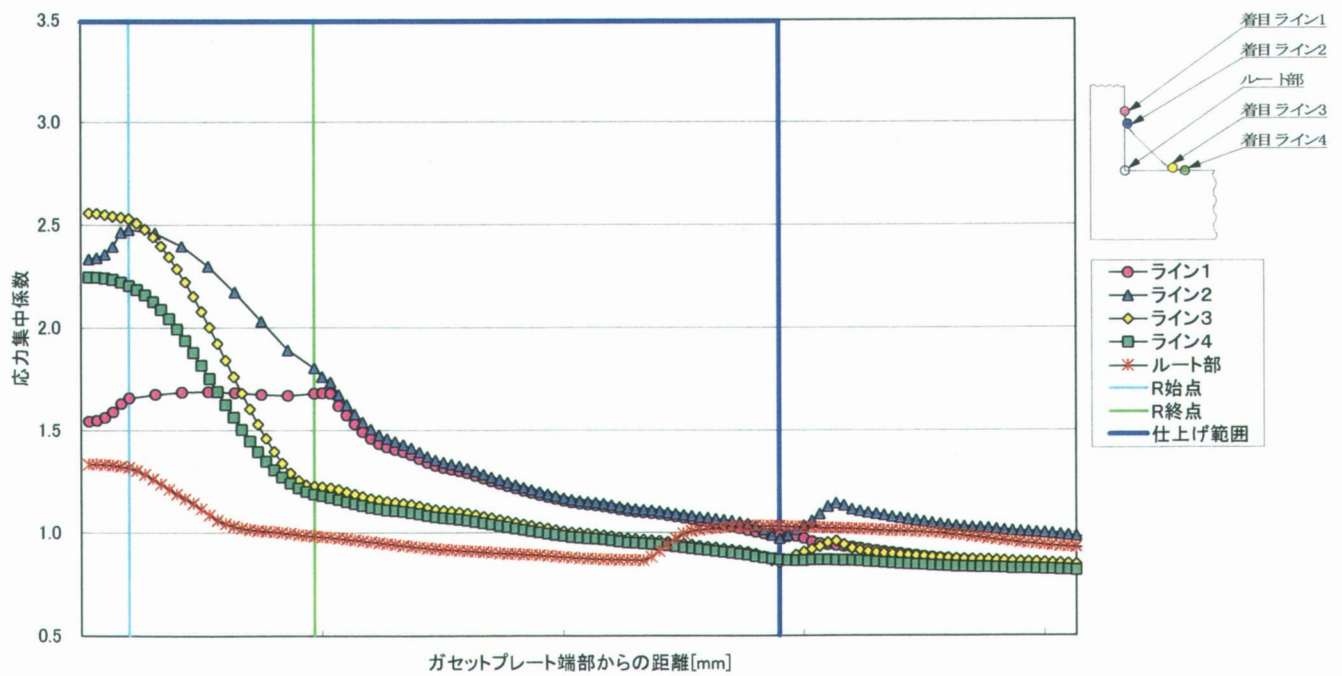


図 3-4-3 ケース 1 応力集中係数分布

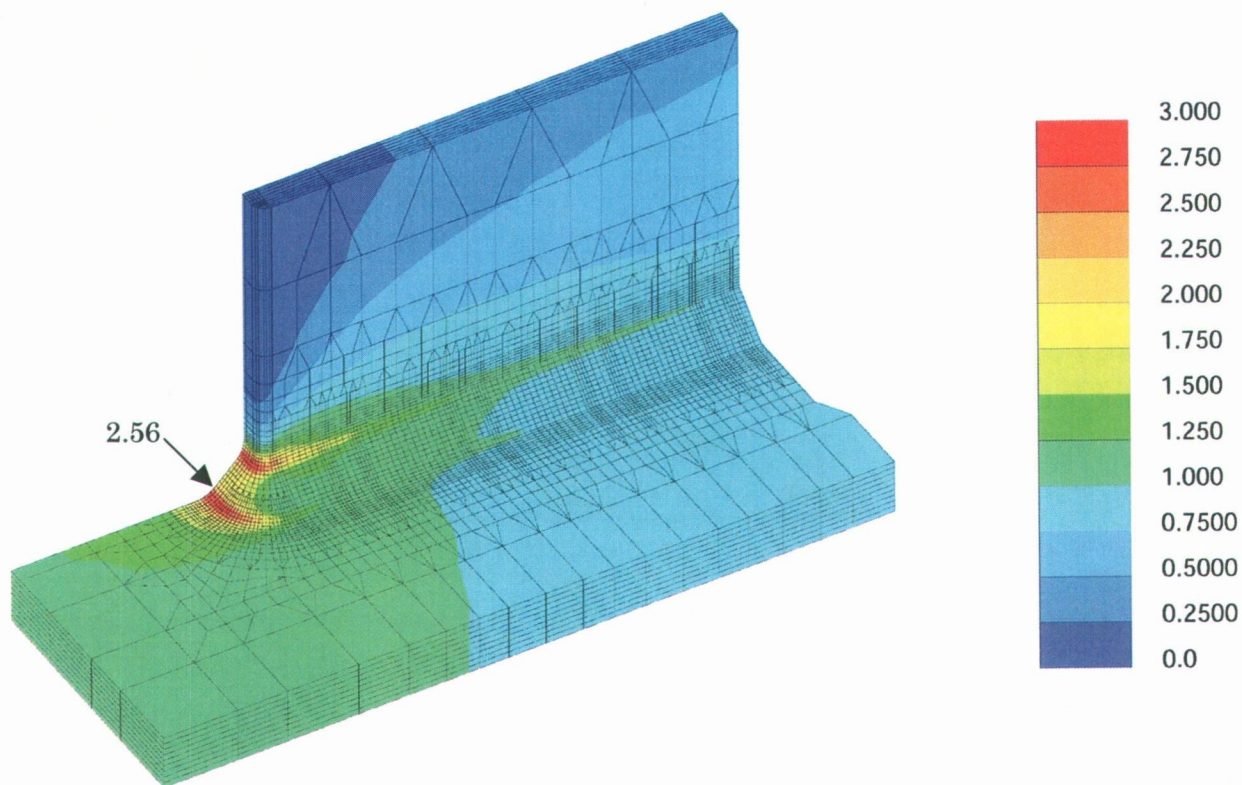


図 3-4-4 ケース 2 応力集中係数分布図

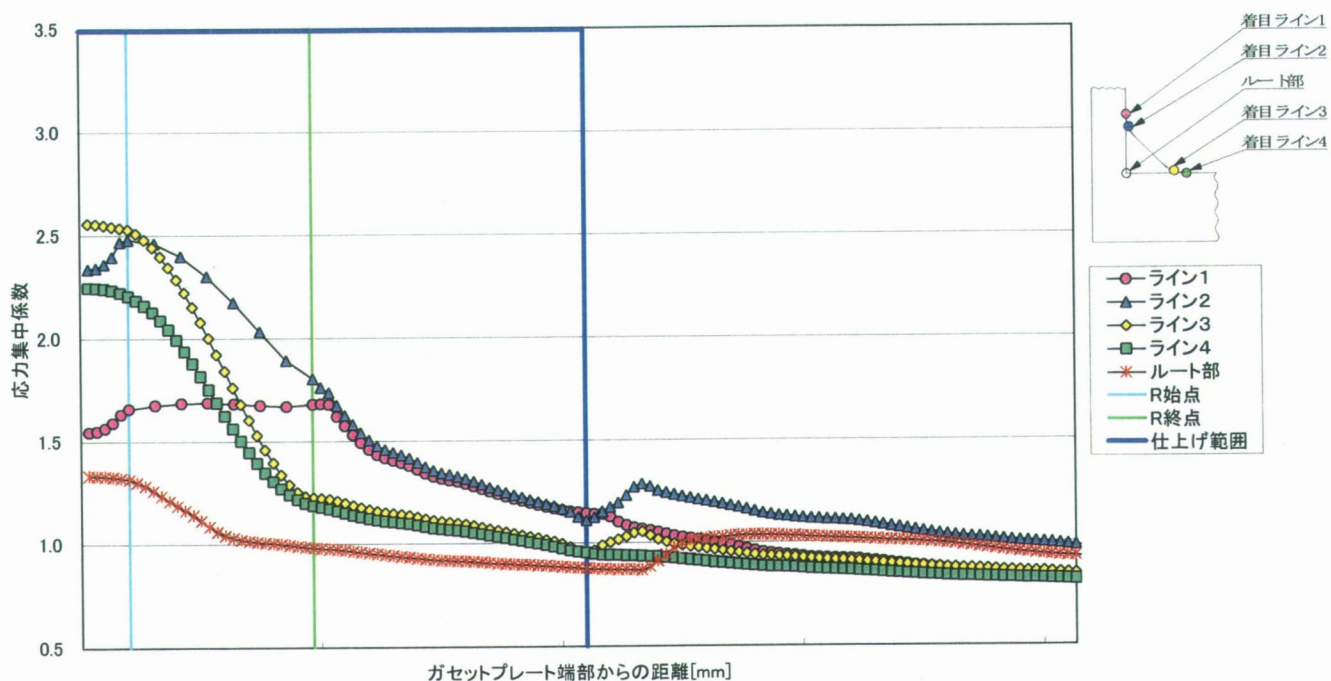


図 3-4-5 ケース 2 応力集中係数分布

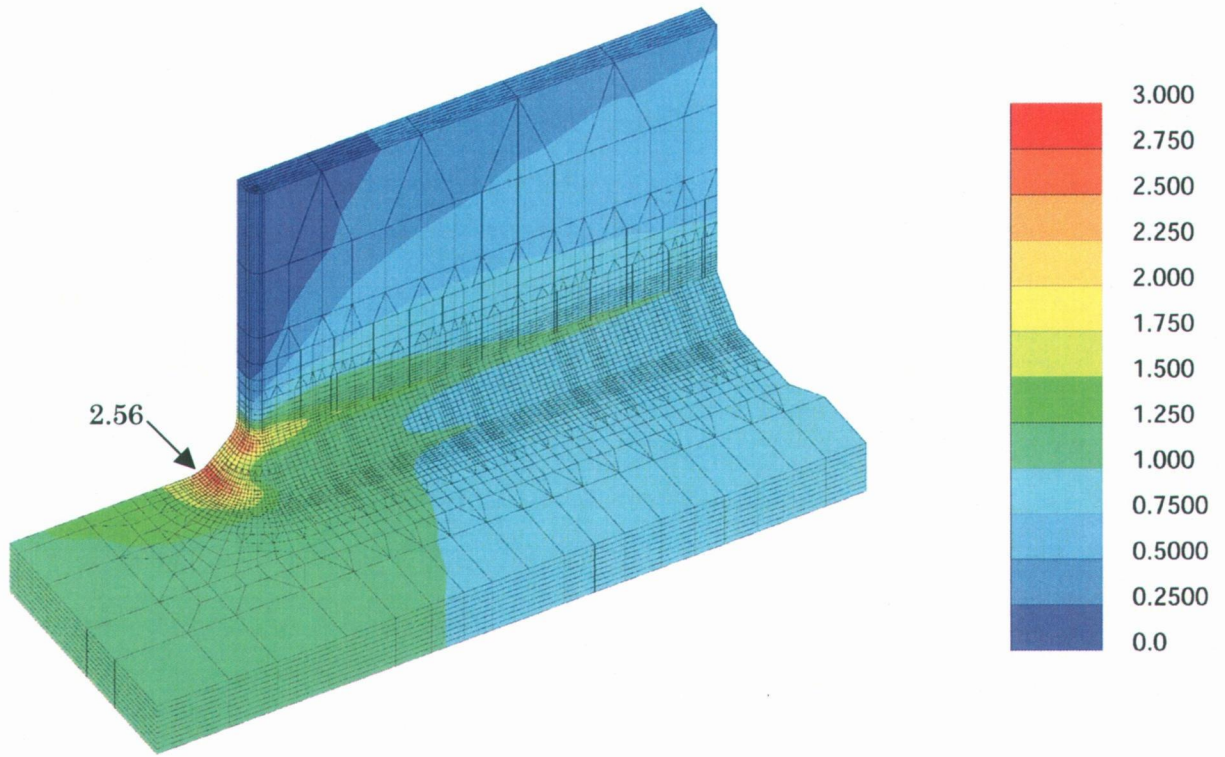


図 3-4-6 ケース 3 応力集中係数分布図

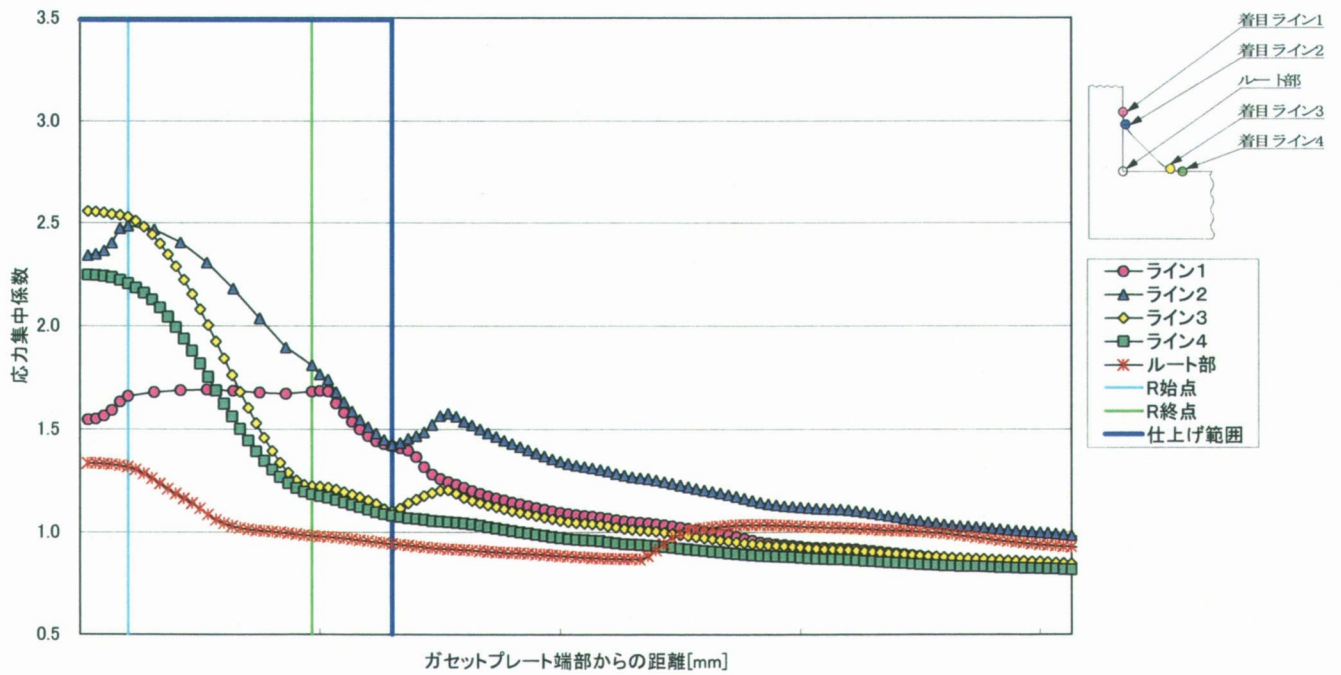


図 3-4-7 ケース 3 応力集中係数分布

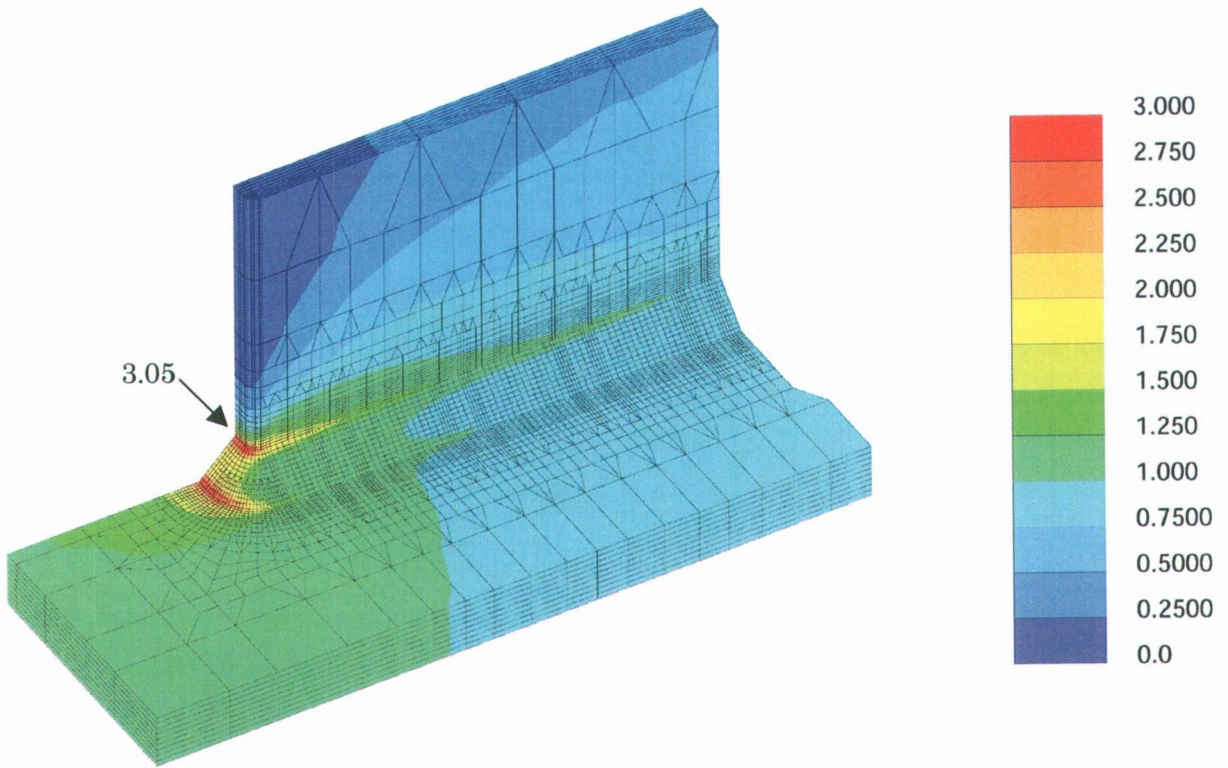


図 3-4-8 ケース 4 応力集中係数分布図

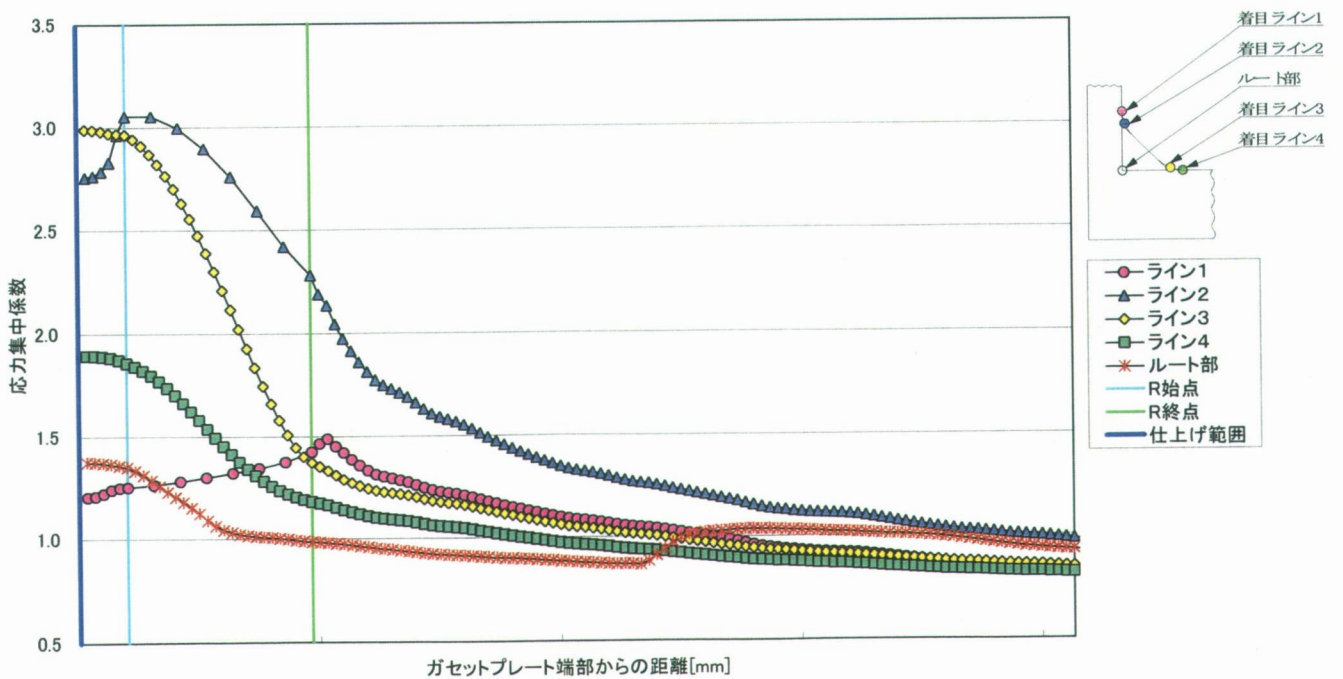


図 3-4-9 ケース 4 応力集中係数分布

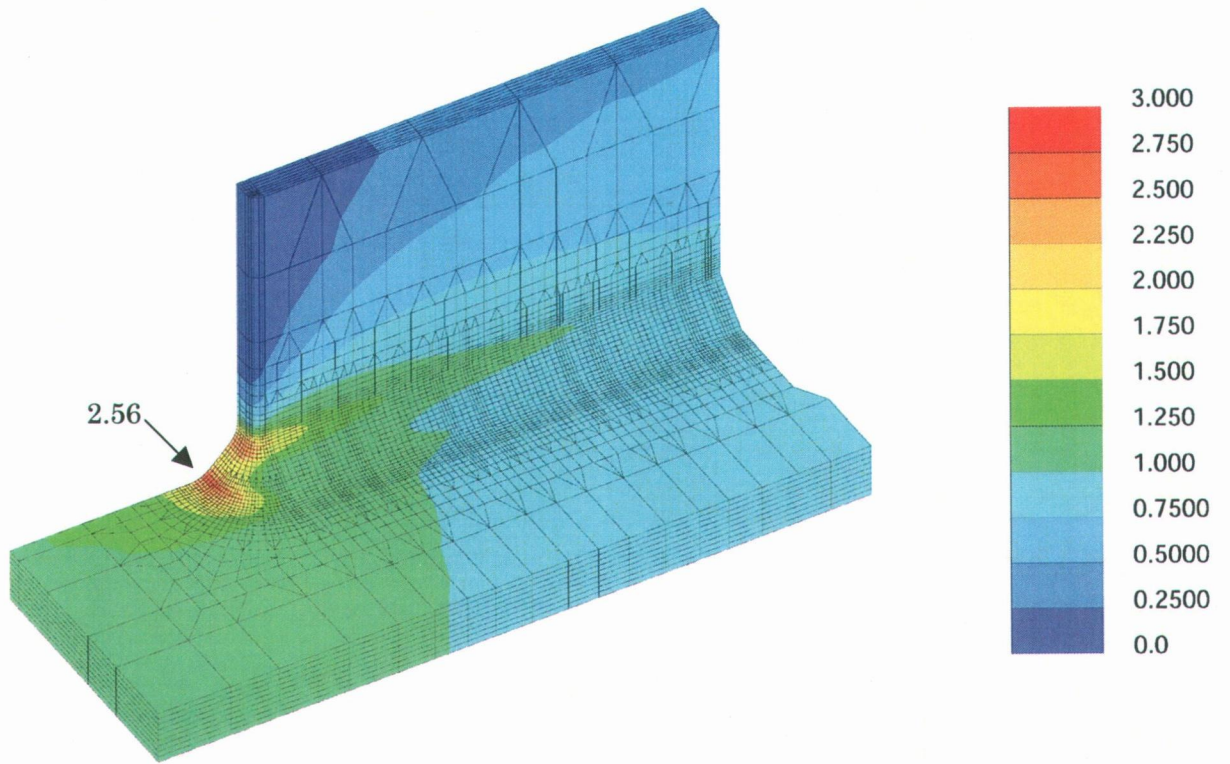


図 3-4-10 ケース 5 応力集中係数分布図

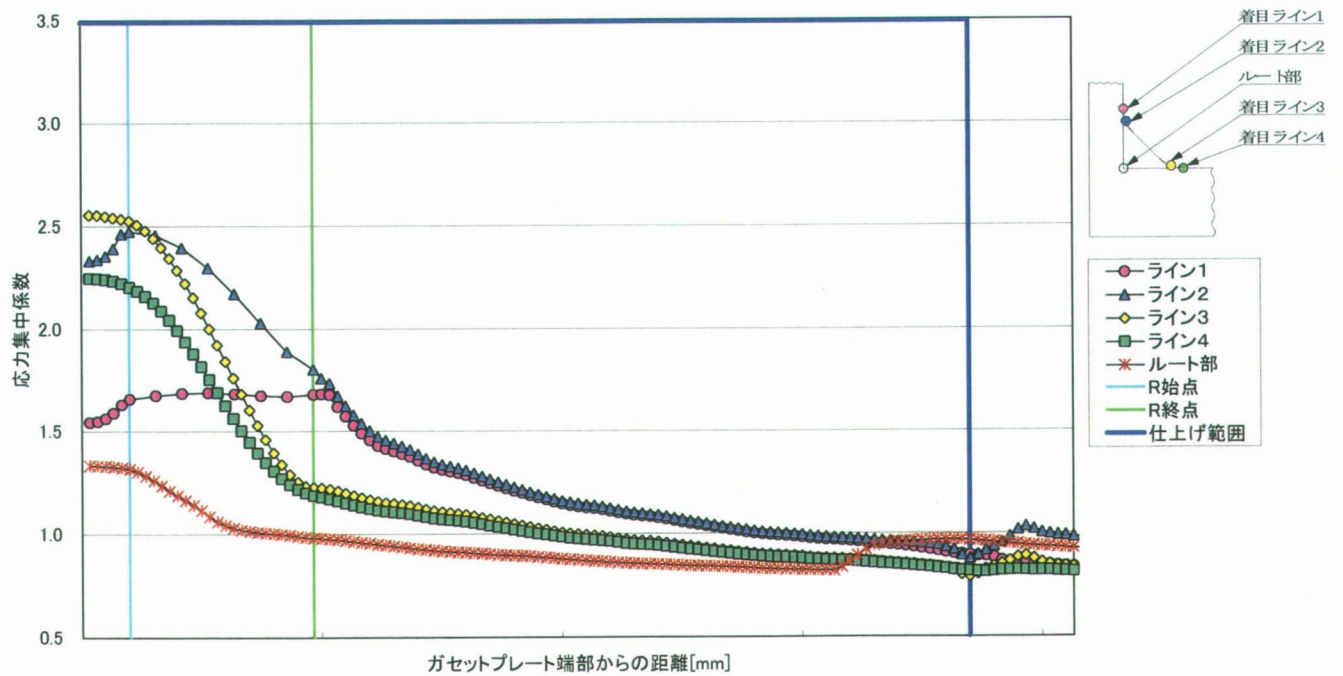


図 3-4-11 ケース 5 応力集中係数分布

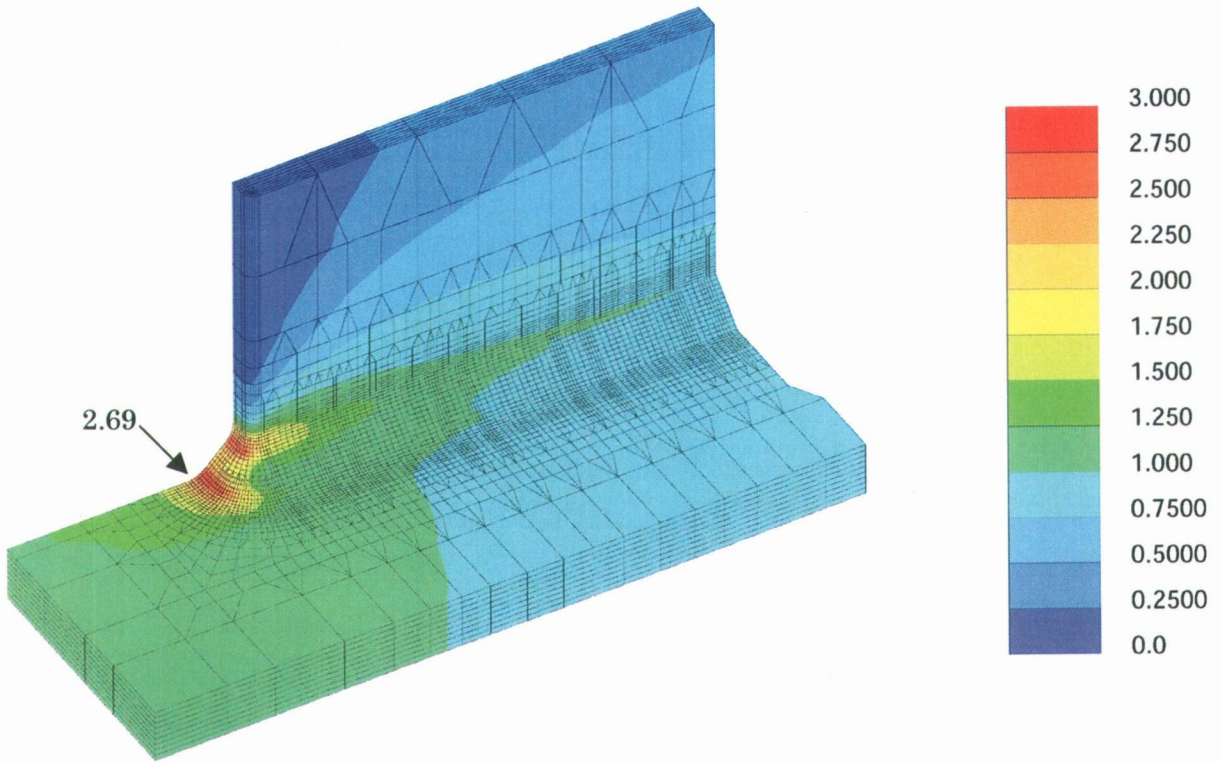


図 3-4-12 ケース 6 応力集中係数分布図

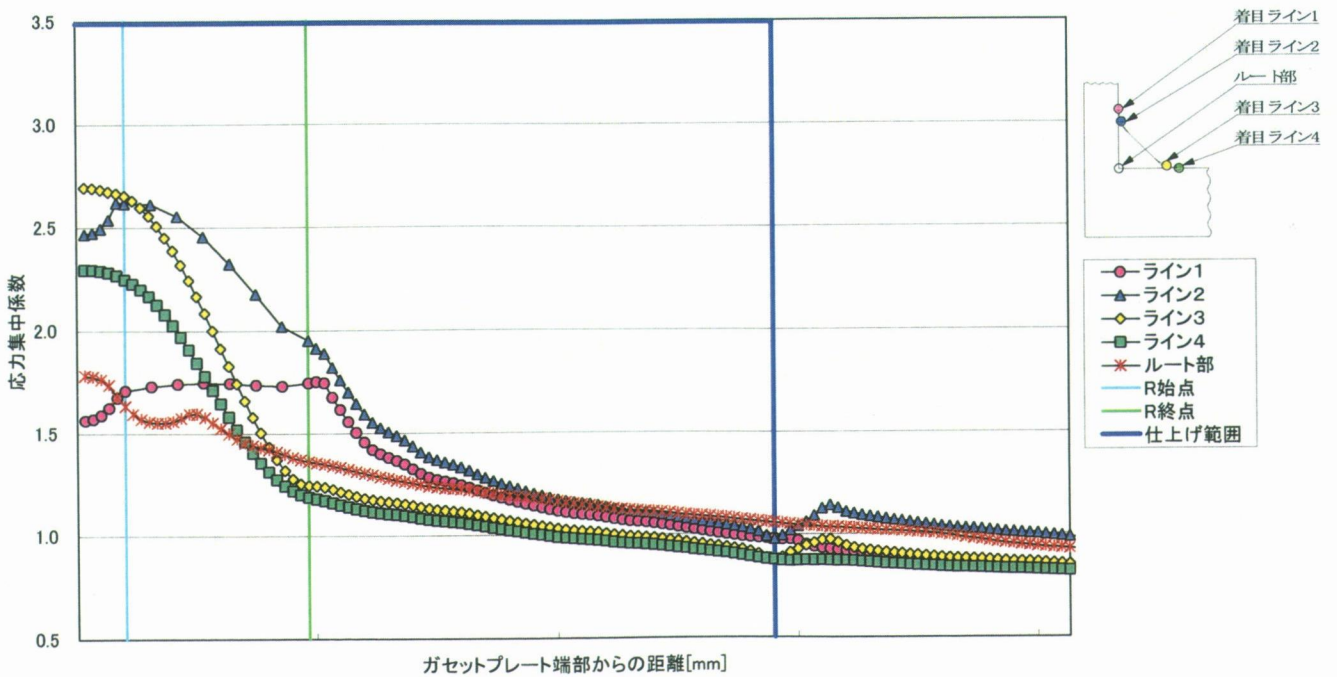


図 3-4-13 ケース 6 応力集中係数分布

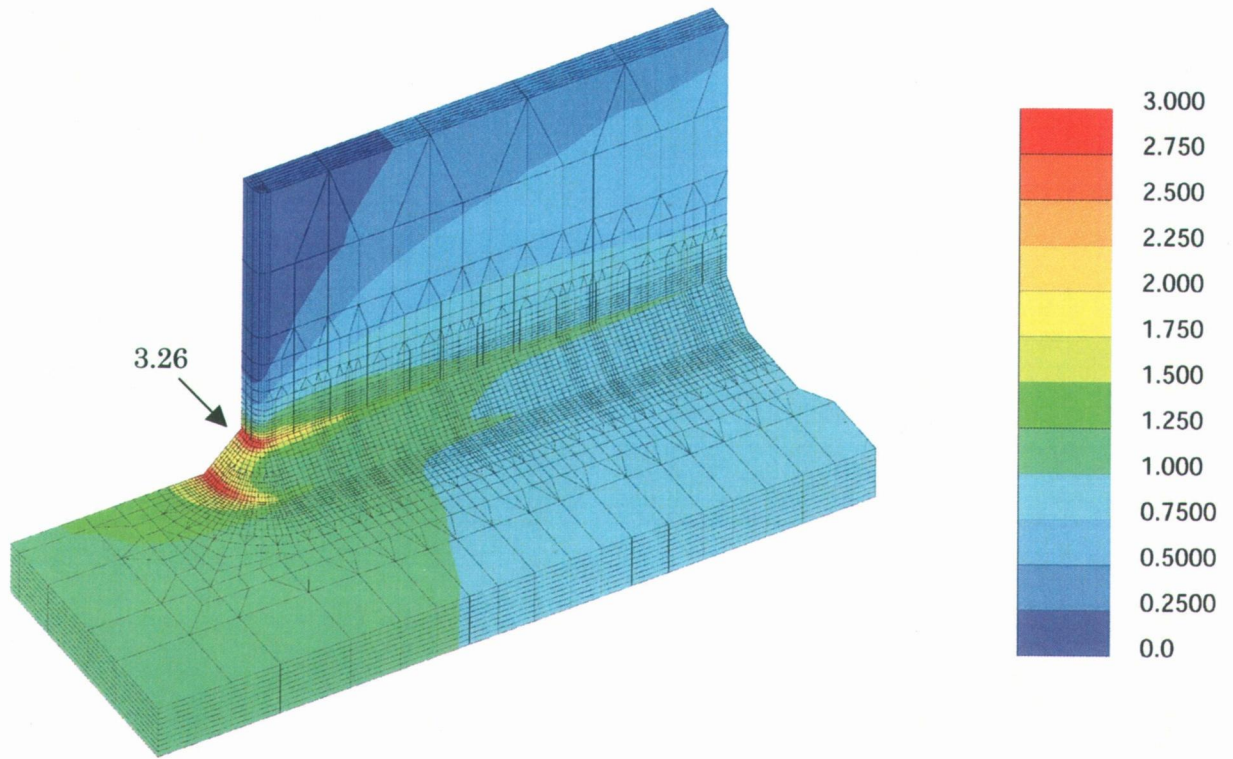


図 3-4-14 ケース 7 応力集中係数分布図

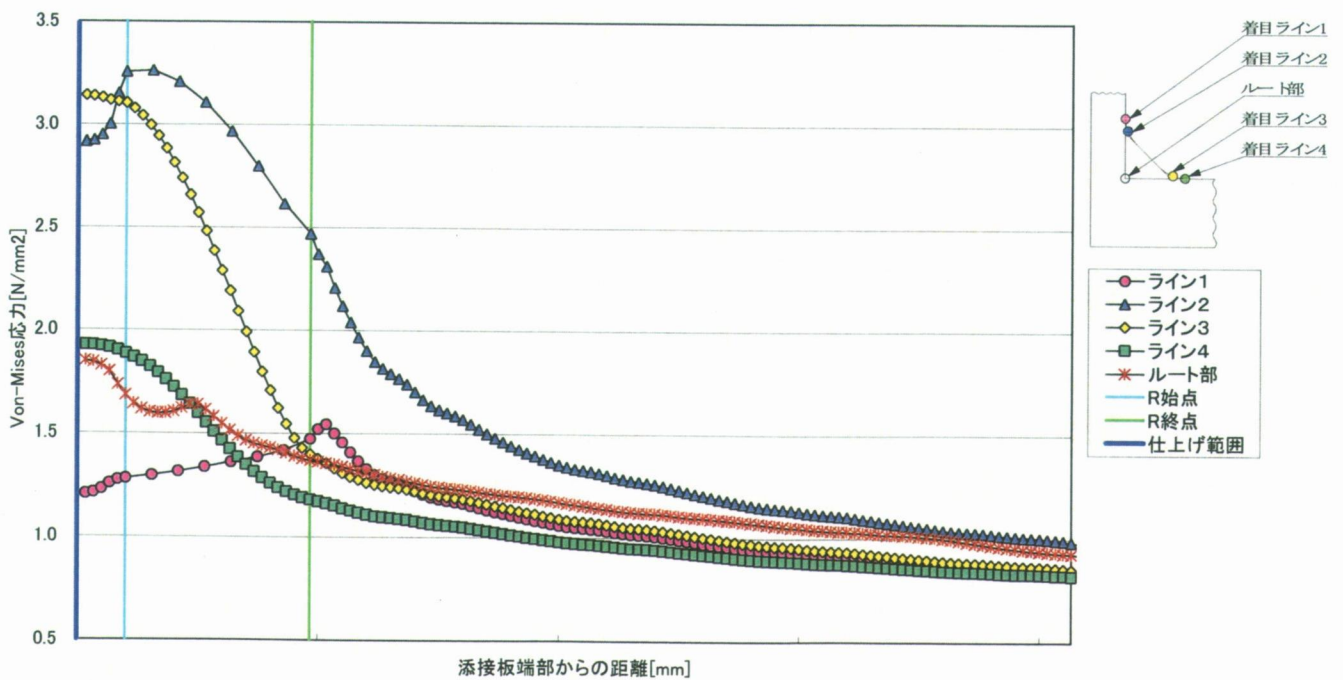


図 3-4-15 ケース 7 応力集中係数分布

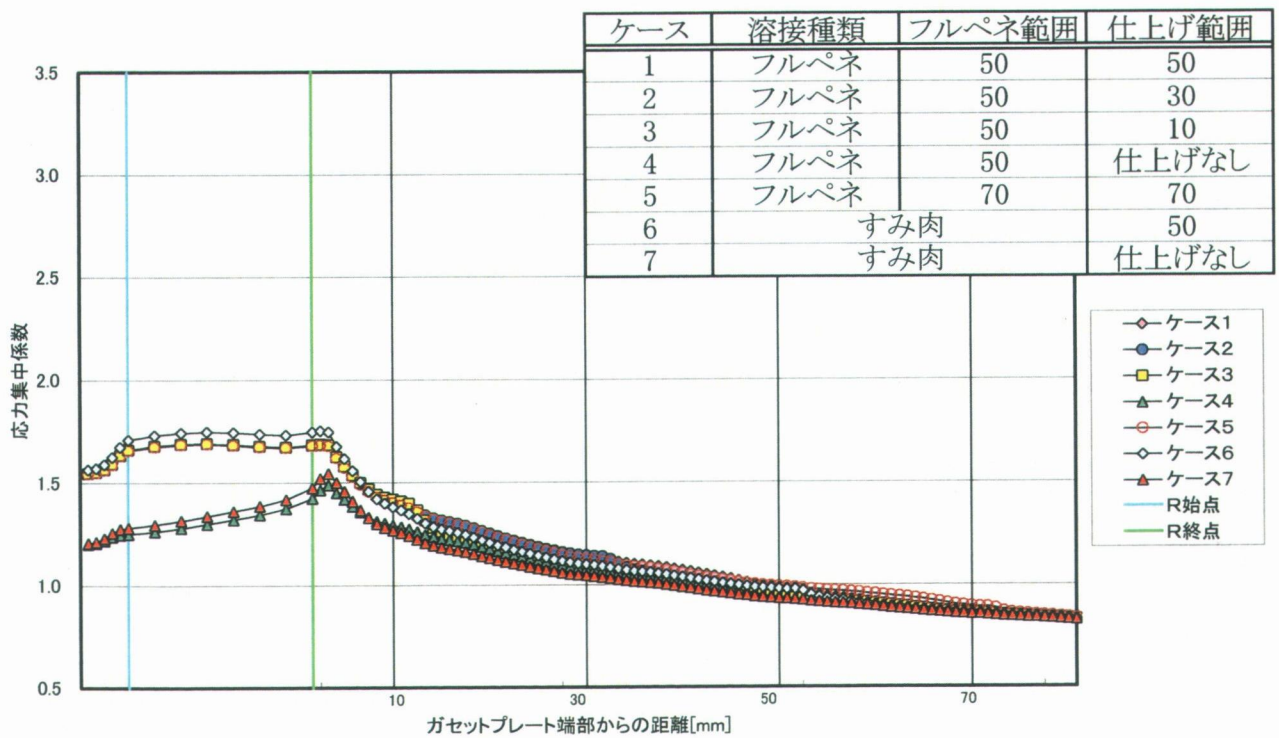
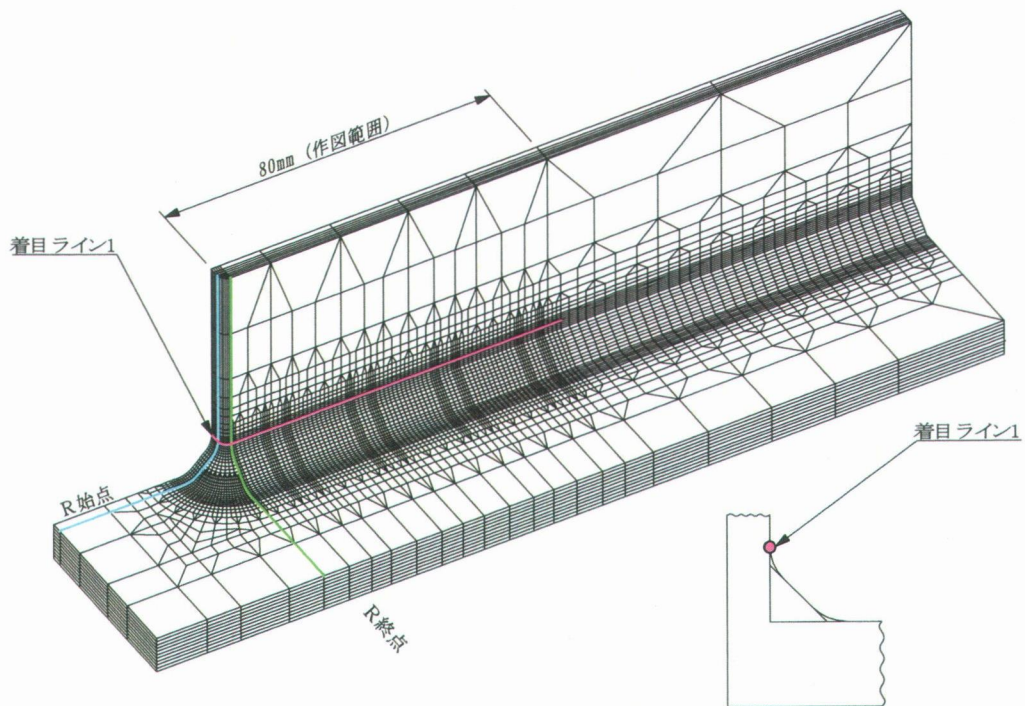


図 3-4-16 着目ライン1 応力集中係数分布

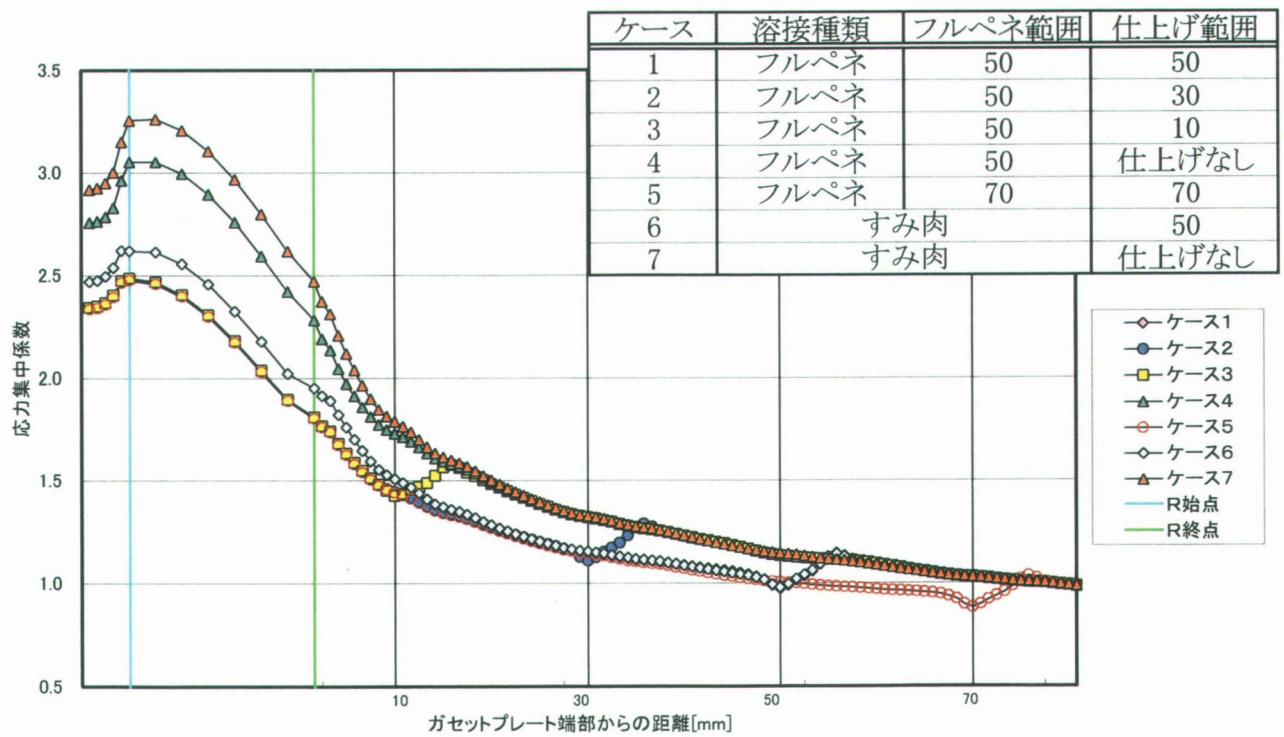
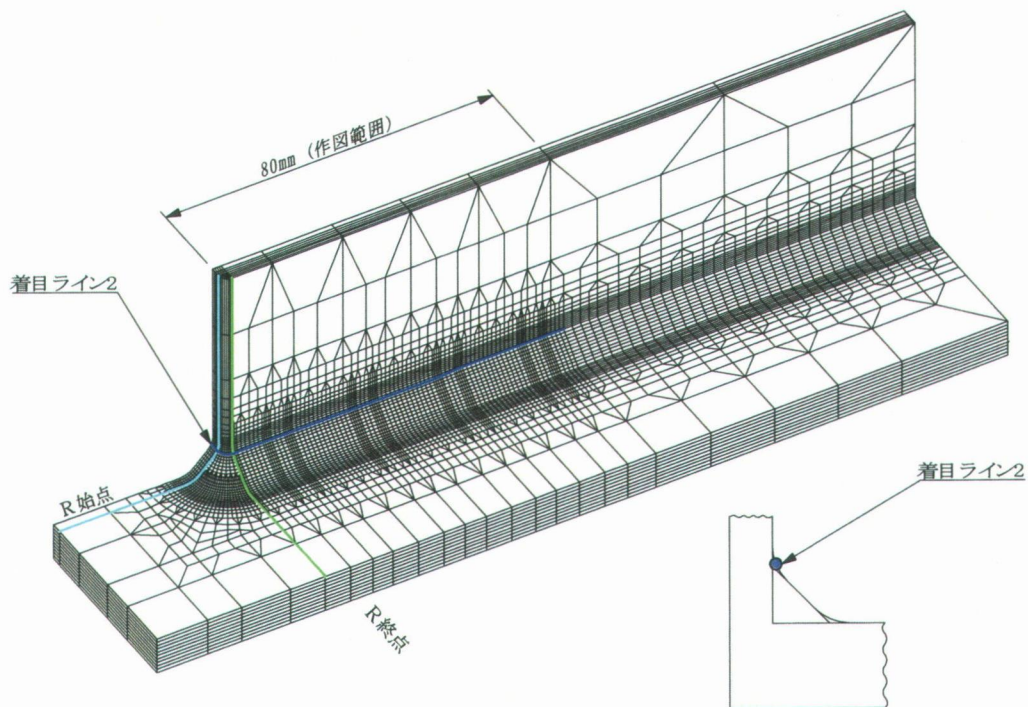


図 3-4-17 着目ライン2 応力集中係数分布

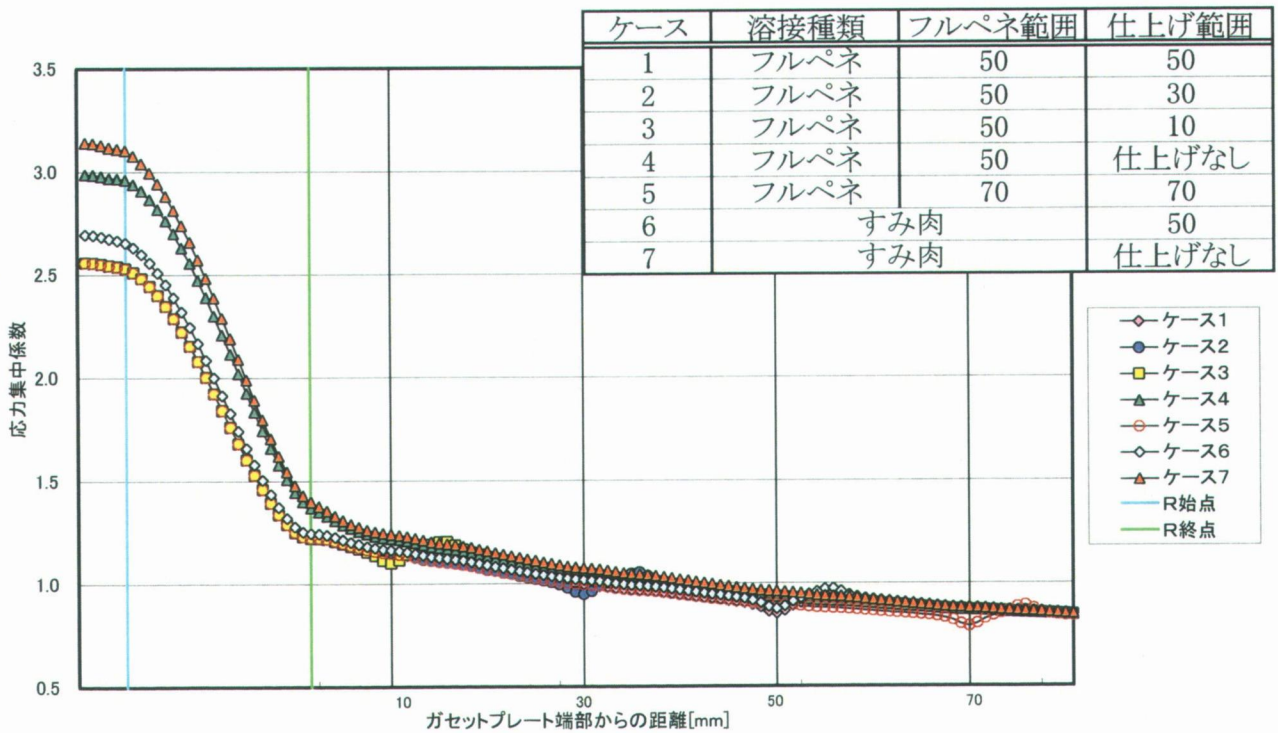
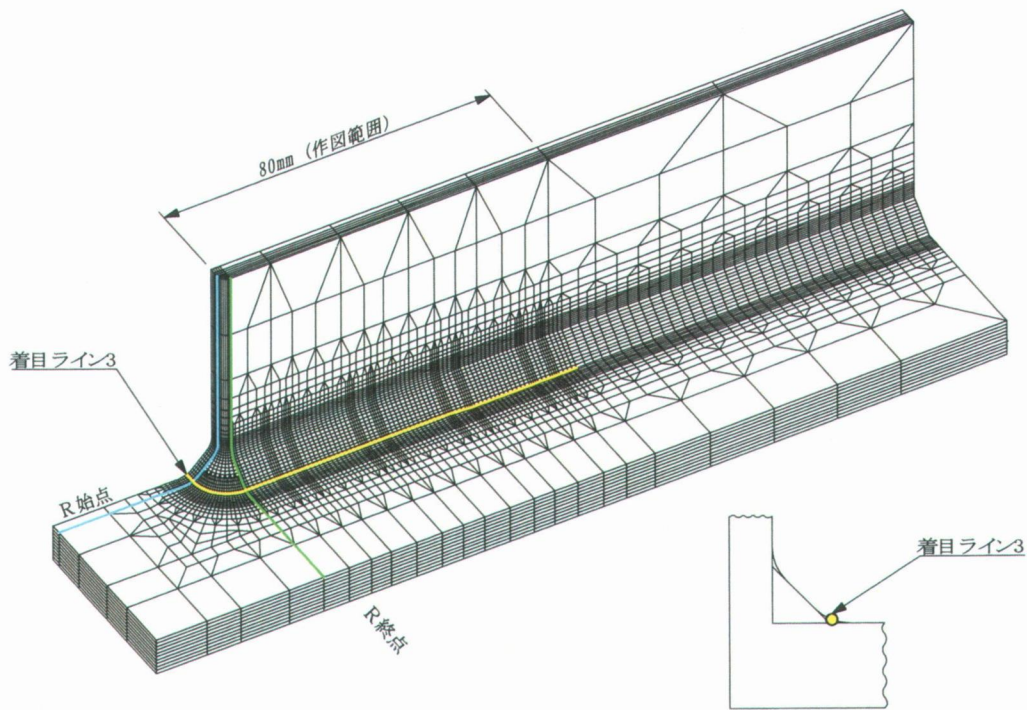


図 3-4-18 着目ライン 3 応力集中係数分布

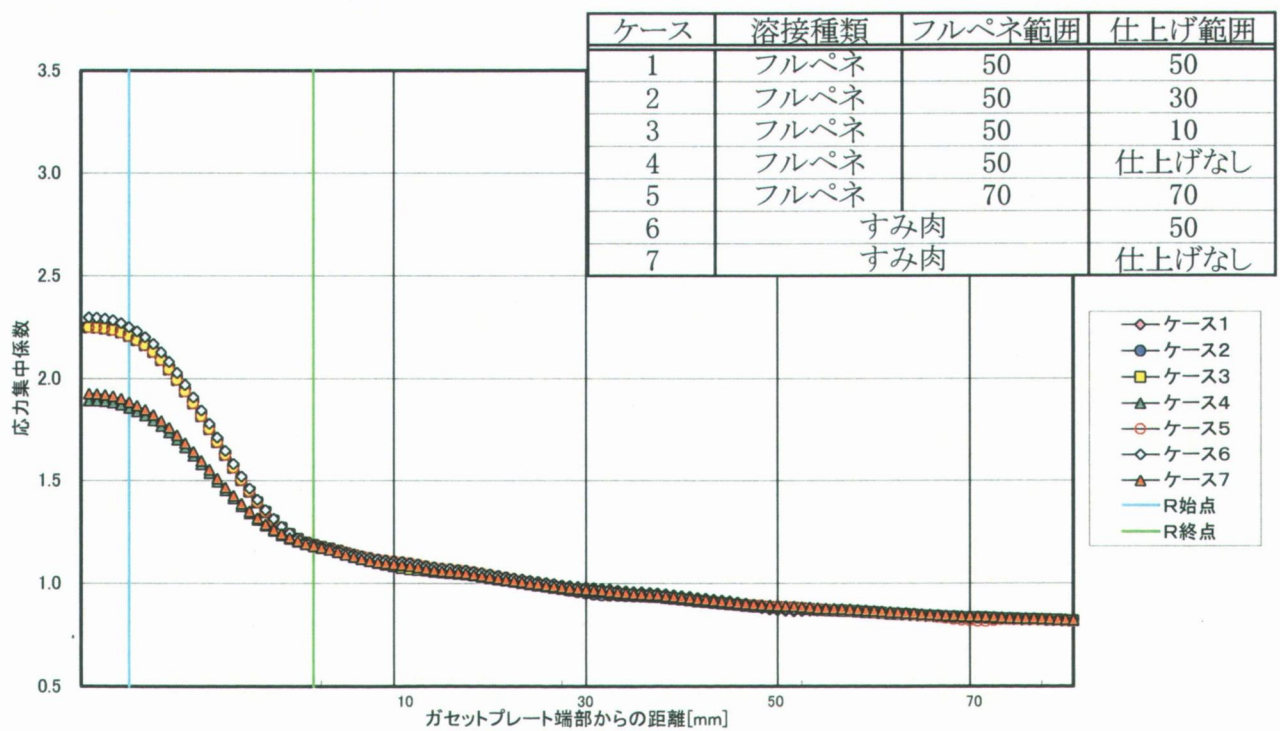
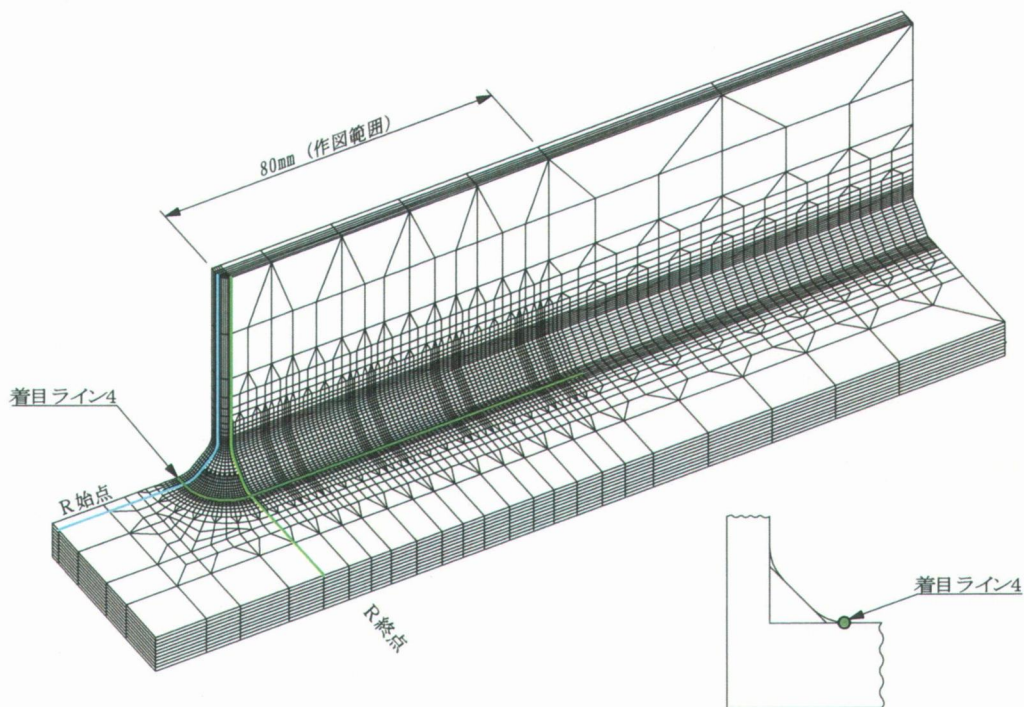


図 3-4-19 着目ライン4 応力集中係数分布

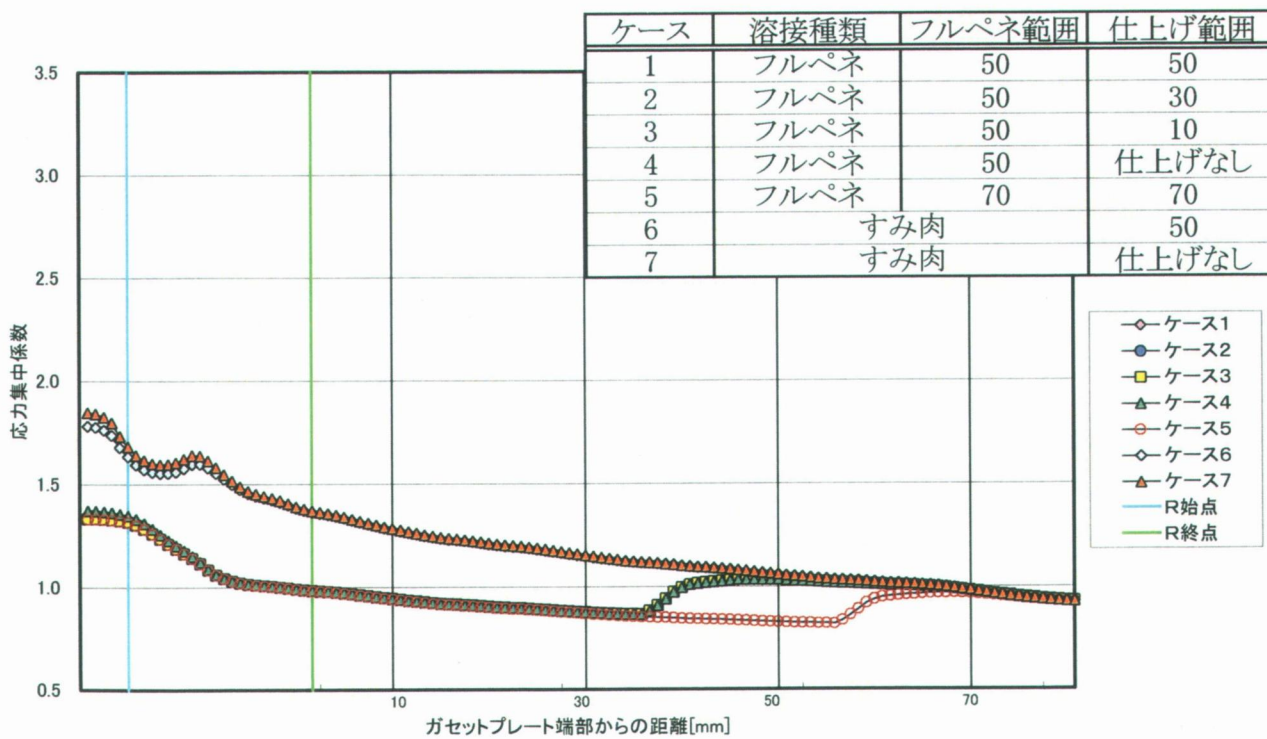
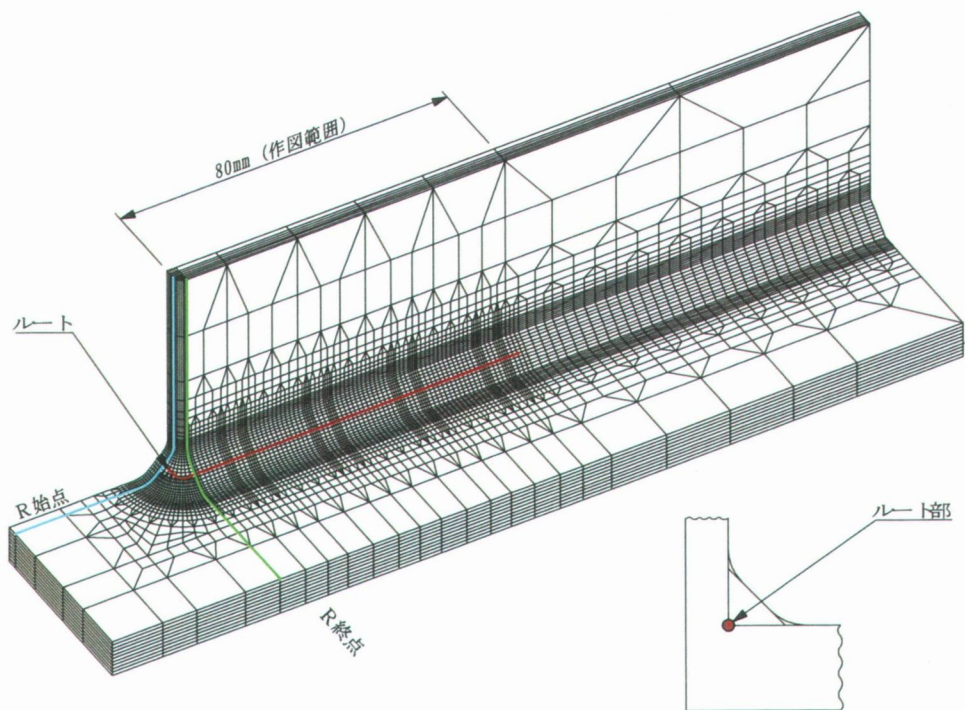


図 3-4-20 ルート部 応力集中係数分布

3-5. まとめ

各ケースにおける応力集中係数の最大値を示した解析結果を表 3-5-1 に示す。

表 3-5-1 各ケースにおける応力集中係数

ケース	溶接種類	フルペネ範囲	仕上げ範囲	応力集中係数		
				着目ライン2	着目ライン3	ルート部
1	フルペネ	50	50	2.47	2.56	1.33
2	フルペネ	50	30	2.48	2.56	1.33
3	フルペネ	50	10	2.49	2.56	1.33
4	フルペネ	50	仕上げなし	3.05	2.99	1.37
5	フルペネ	70	70	2.48	2.56	1.33
6	すみ肉		50	2.62	2.69	1.78
7	すみ肉		仕上げなし	3.26	3.14	1.85

解析結果により下記傾向が伺えた。

- ・仕上げ範囲の違いによる傾向は、50mm（ケース 1）、30mm（ケース 2）、10mm（ケース 3）とも各着目部ラインの最大値が 2.56 となり、仕上げの範囲による差異はないことを確認した。但し、仕上げ無しの場合（ケース 4）及びガセット端部の溶接方法をすみ肉溶接とした場合（ケース 6）については、応力集中が上記に比べ高くなることを確認した。
- ・フルペネからすみ肉溶接に変化するルート部の応力集中が若干高くなる傾向にあること、仕上げ有りから無しに変化する止端部（着目ライン 2 及び 3）において溶接断面形状の変化により応力集中が高くなる傾向が伺えた。

なお本解析は、複雑なモデル化は避け（溶接による母材の溶け込み形状やすみ肉溶接においても母材側の溶着があることなど、細かいディテールのモデル化を行っていない）、面外ガセット部の溶接方法及び仕上げ範囲の違いが疲労耐久性に与える傾向を検証したものである。

また、土木学会第 60 回年次学術講演会（平成 17 年 9 月）で発表された「面外ガセット溶接継手の疲労強度向上に関する研究」（鋼橋技術研究会 維持管理部会の一環）においても、仕上げ範囲は回し溶接部のみで十分な疲労強度向上効果があると発表されている。