

第4章 損傷影響分析

4.1 概要

第3章までに示したとおり、鋼道路橋では桁端部の限られた領域での腐食が突出して悪化する傾向にあり、さらに腐食形態も多くの場合代表的な数パターンに近似する傾向にある。

一方、従来より鋼橋の腐食が耐荷力に及ぼす影響については、比較的疲労範囲が全体的に腐食する場合について検討がなされているものの、本検討で明らかになった代表的な腐食形態である桁端の極限られた範囲で集中的に腐食が進行するような場合について明らかにされていない。そこで本章では、代表的な腐食パターンによる板厚減少などの鋼部材の損傷が生じる場合、橋の性能にどのような影響が生じるのかを明らかにするためにモデル損傷を設定して数値解析により耐荷力への影響について検討を行った。

図 4.1 に解析のフローを以下に示す。

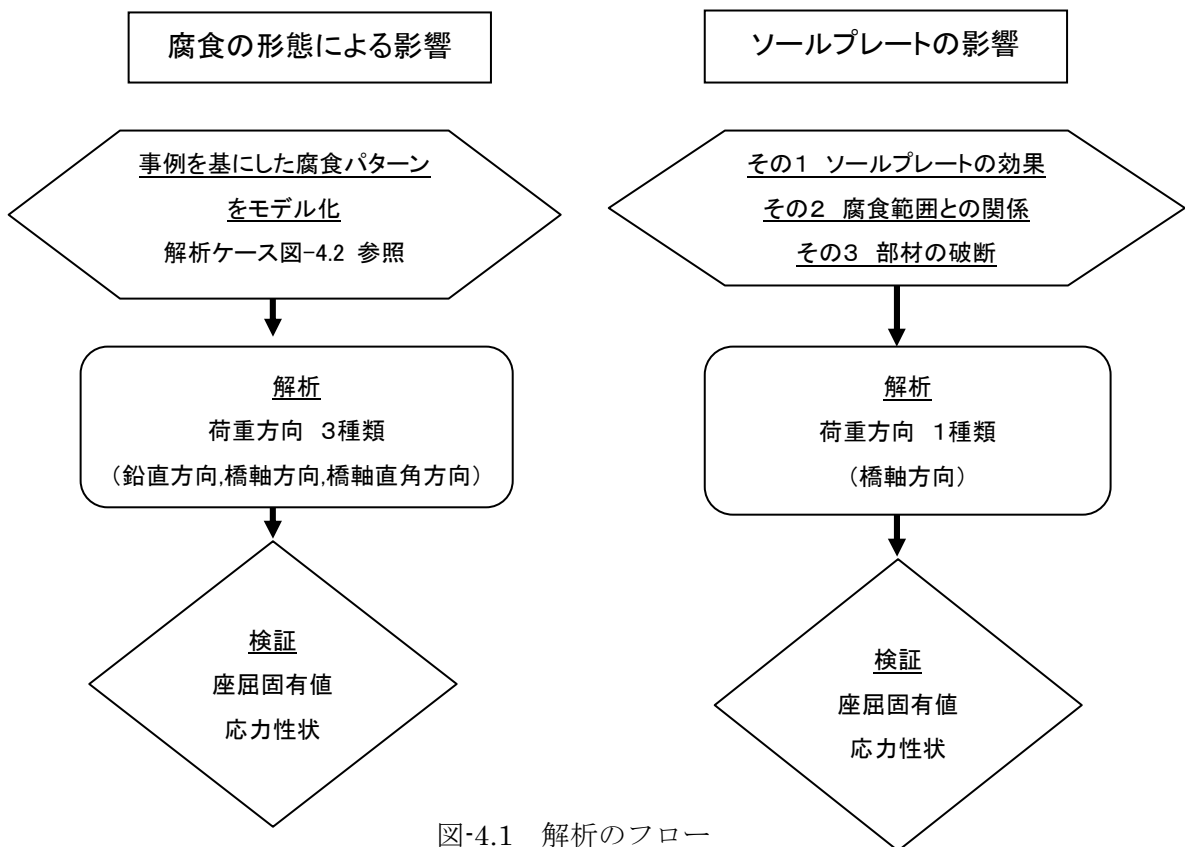


図-4.1 解析のフロー

4.1.1. 解析方法

解析は、汎用 FEM 解析プログラムである COSMOS Ver2.85 を使用した FEM 解析を実施した。

解析モデル詳細の設定及び評価方法については、4.2 以降の各影響の分析ごとに示す。

4. 2 腐食形態の違いによる影響

代表的な腐食形態毎に、その進行が橋の性能にどのような影響を及ぼすのかについて検討する。ここでは代表的な腐食パターン毎に板厚減少量を仮定し、支承条件、ソールプレートと腐食領域の関係などとの組み合わせ条件に着目して数値解析を実施した。

4. 2. 1. 解析モデルの設定

第 3 章で整理した腐食事例の中から、桁端部の比較的多い腐食パターンである図-4.2 の腐食パターンについて解析を行うこととした。解析ではこれらの腐食パターンそれぞれについて、腐食部位の板厚減少率を 25% (腐食進行度小)、50% (腐食進行度中)、75% (腐食進行度大) の 3 段階に分けてシェル要素でモデルを作成した。

なお、桁端部に著しい腐食が見られる橋梁では、ソールプレートと支承の間にも腐食が見られ、多くの場合、設計上可動条件であっても可動機能が保証されない状態となっていることが点検結果からは疑われる。したがって、本解析では、支承は固定状態として解析を実施した。

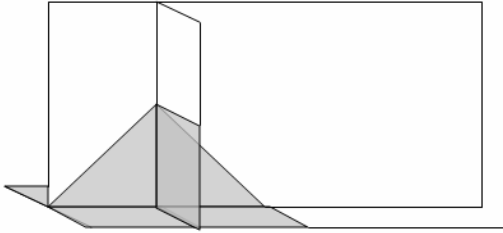
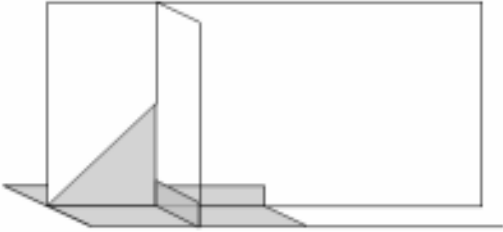
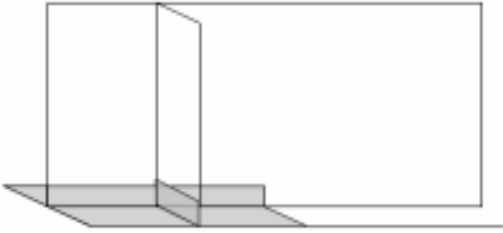
腐食解析モデル		板厚減少率		
		25%	50%	75%
腐食モデル 1 (A1)		A1-25	A1-50	A1-75
腐食モデル 2 (A2)		A2-25	A2-50	A2-75
腐食モデル 3 (A3)		A3-25	A3-50	A3-75

図-4.2 腐食解析モデル一覧

4. 2. 2 解析モデルと荷重の設定

解析は、鉛直方向、橋軸方向、橋軸直角方向の3方向それぞれの載荷状態を解析する。

鉛直方向、橋軸方向荷重については、主桁単体のみを取り出した単純梁モデル、橋直方向荷重については、4主桁桁の桁端部だけのモデルで解析を行う。

主桁単体のみを取り出した単純梁モデルは、図-4.3の寸法とし、全てシェル要素でモデル化し着目する桁端部周辺の要素サイズは $25 \times 25\text{mm}$ 程度を基本とした。(図-4.4) 支点部の拘束条件の設定方法については、支点位置(桁端から 500mm の位置)の下フランジ幅方向の全節点を全方向拘束とする。

4主桁桁の桁端部だけのモデルにおいても、全てシェル要素でモデル化し、着目する桁端部周辺の要素サイズは $25 \times 25\text{mm}$ を基本とした。支点部の拘束条件の設定方法については、支点位置(桁端から 500mm の位置)の下フランジ幅方向の全節点を全方向拘束とする。中間対傾構が取り付け位置には橋軸直角-鉛直平面に対して対称条件を設定する。(図-4.9)

本研究では、腐食条件毎の耐荷力特性などの相対比較を行うため溶接ひずみなど部材の初期不整については全て無視することとした。

荷重強度は、健全モデルと各腐食モデルの結果について相対関係をあきらかにするために相対評価で判断する為、単位荷重とする。各荷重方向に対する解析モデルの一覧を図-4.10に示す。

局部座屈位置については、荷重方向毎に図-4.11のような位置を想定した。

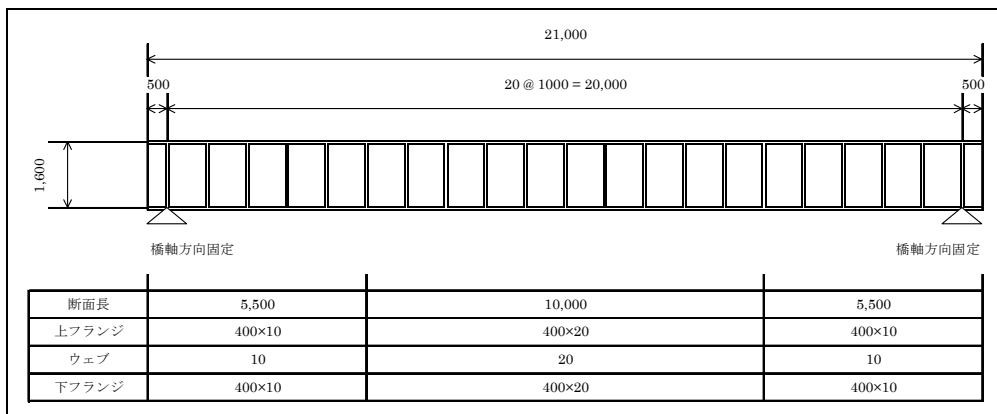


図-4.3 主桁単体モデルの断面構成

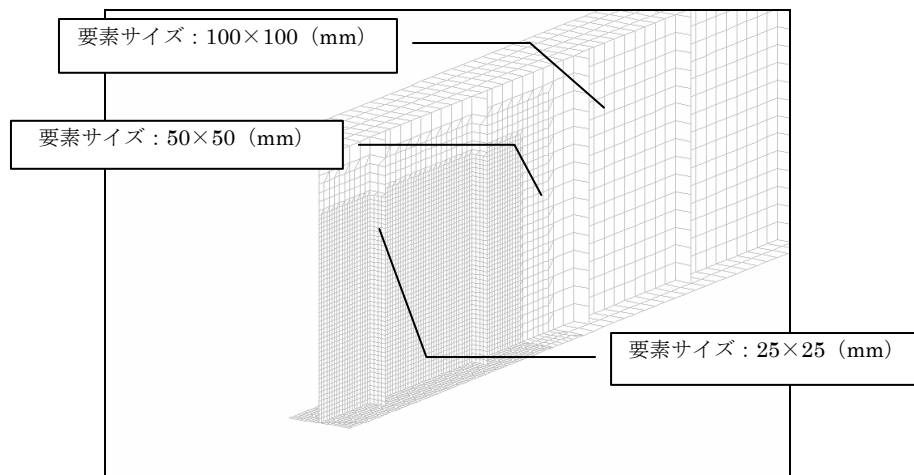


図-4.4 主桁単体モデルの解析モデル図

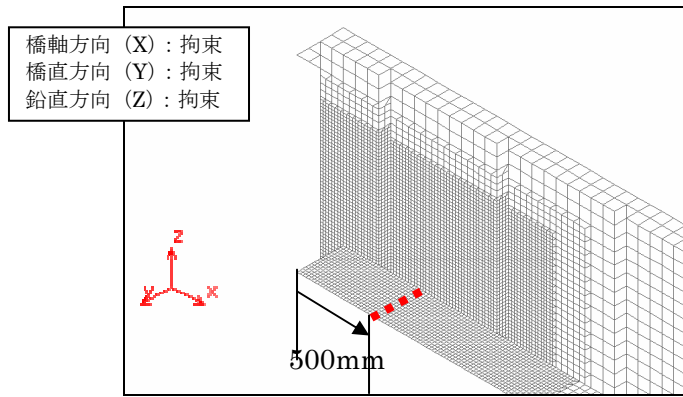


図-4.5 主桁単体モデルの拘束条件（下からの視点）

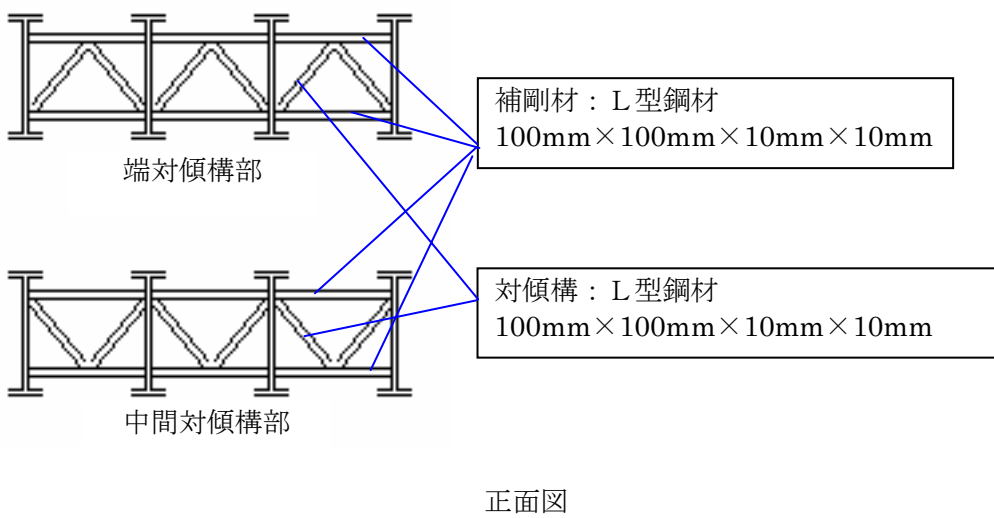
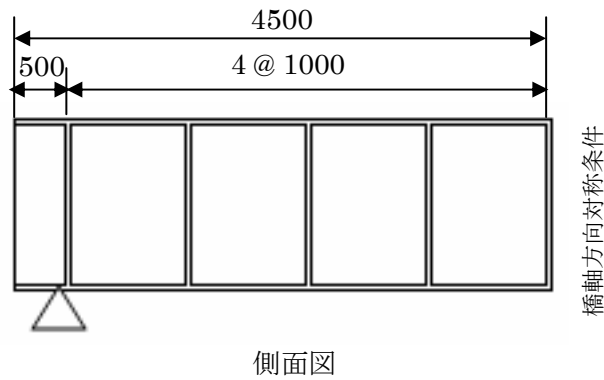


図-4.6 4主桁モデルのモデル図（上：側面図 下：断面構成）

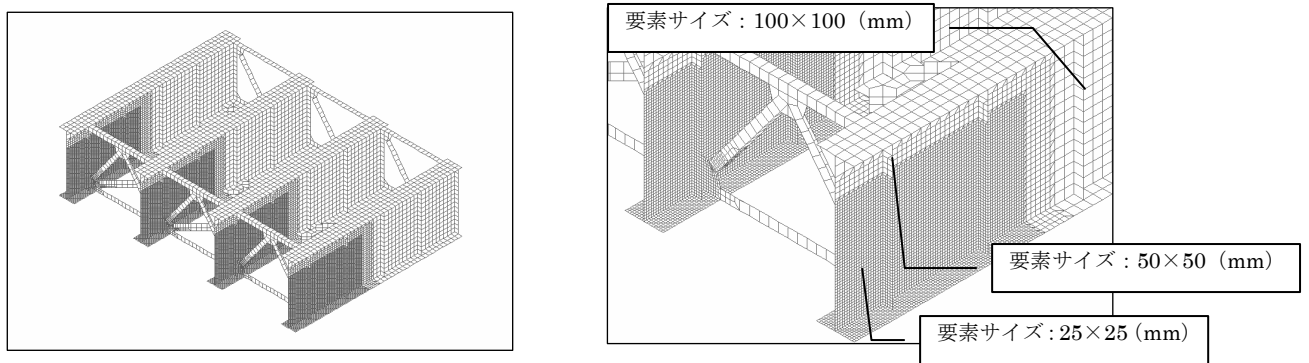


図-4.7 主桁単体モデル解析モデル図 (左：上から 右：拡大図)

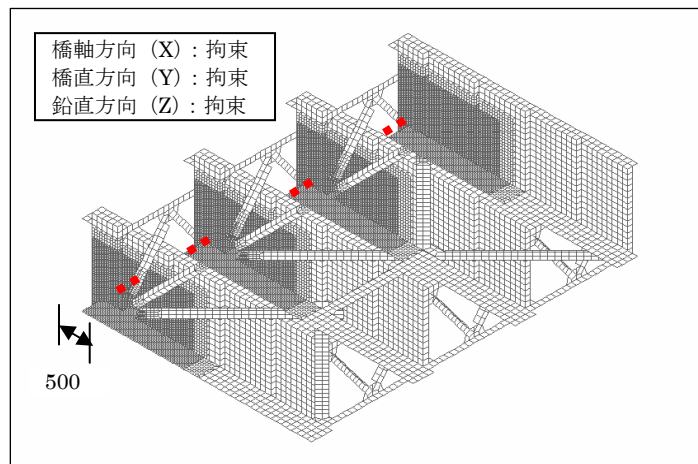


図-4.8 拘束条件 (下からの支点)

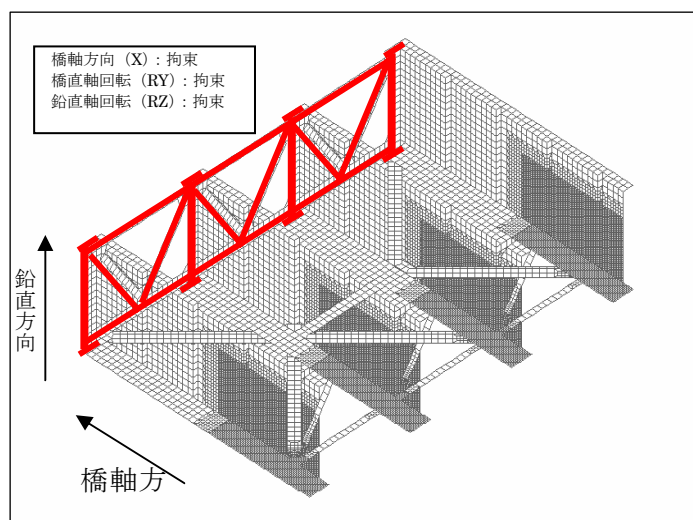


図-4.9 対称条件 (下からの視点)

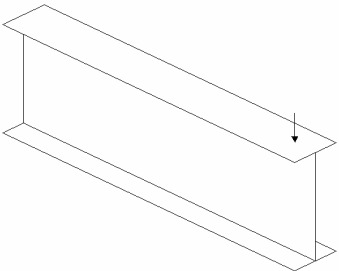
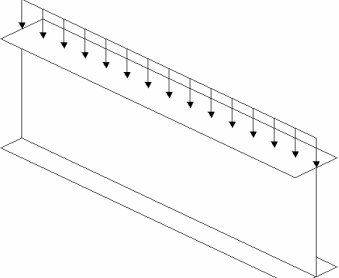
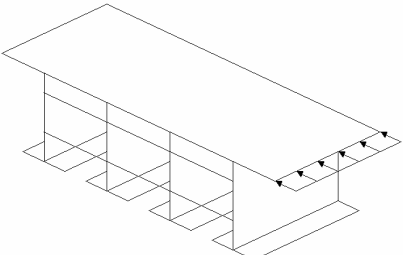
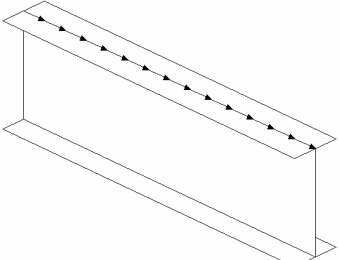
<p>Vs : 鉛直方向荷重(支点上) : 主桁単体モデル</p> <p>支点直上の上フランジに集中荷重を載荷</p> <p>載荷面積 $0.4\text{m} \times 0.2\text{m} = 0.08\text{m}^2$</p> <p>分布荷重強度 $100\text{kN}/0.08\text{m}^2 = 1.25\text{N}/\text{mm}^2$</p>	
<p>V : 鉛直方向荷重(全体) : 主桁単体モデル</p> <p>桁全長にわたり上フランジに線分布荷重を載荷</p> <p>分布荷重強度 $1\text{kN}/\text{mm}^2$</p>	
<p>L : 橋直方向荷重用 : 桁端部モデル</p> <p>床版端部 (もしくは上フランジ) に線分布荷重を載荷</p> <p>分布荷重強度 $1\text{kN}/\text{mm}^2$</p>	
<p>A : 橋軸方向荷重用 : 主桁単体モデル</p> <p>桁全長に渡り上フランジに線分布荷重を載荷</p> <p>分布荷重強度 $1\text{kN}/\text{mm}^2$</p>	

図-4.10 各荷重方向に対する解析モデル

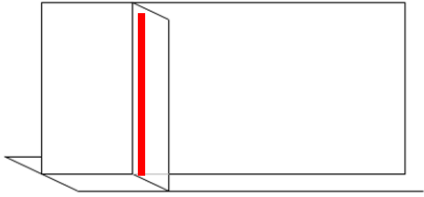
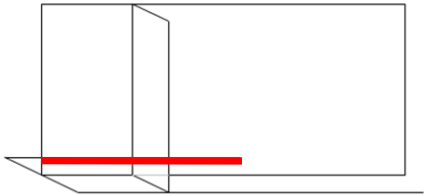
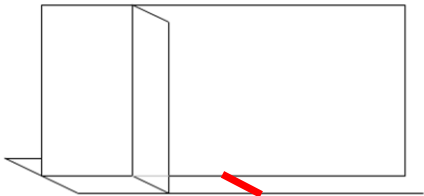
鉛直方向荷重載荷時	
橋軸方向荷重載荷時	
橋直方向荷重載荷時	

図-4.11 着目部位

4. 2. 3 耐荷力の評価方法

腐食のない健全な状態（以下、健全モデル）の FEM 解析も同時に行い、各腐食モデルの解析結果は、健全モデルの解析結果との相対評価により判断を行う。評価内容としては、以下の3項目とした。

①座屈固有値の低下率

弾性座屈解析により、健全モデルと各腐食モデルの座屈固有値を比較し、その低下率を耐荷力の評価基準にする。

②座屈位置

弾性座屈解析により、健全モデルと各腐食モデルの座屈位置を比較し、評価基準にする。

③作用応力の上昇率

静的弾性解析により、同じ荷重強度の载荷条件に対する健全モデルと各腐食モデルの作用応力を比較し、その上昇率を耐荷力の評価基準にする。また、座屈解析で局部座屈が発生した位置について、健全モデルと各腐食モデルの作用応力性状を比較する。

4. 2. 4 解析結果

以上の条件で解析した結果を、図-4.5 に示す。
詳細な結果は、【付録 1】 に添付する。

	Vs(鉛直荷重・支点上)	V(鉛直方向)	A(橋軸直角方向)	L(橋軸方向)
載荷方法	載荷面積 $0.4\text{m} \times 0.2\text{m}$ $=0.08\text{m}^2$ 分布荷重強度 $100\text{kN}/0.08\text{m}^2$ $=1.25\text{N}/\text{mm}^2$	分布荷重強度 $1\text{kN}/1\text{m}^2$ $=1\text{kN}/\text{mm}^2$	分布荷重強度 $1\text{kN}/1\text{m}^2$ $=1\text{kN}/\text{mm}^2$	分布荷重強度 $1\text{kN}/1\text{m}^2$ $=1\text{kN}/\text{mm}^2$
座屈位置	板厚減少率 25% 局部座屈 (A1:垂直補剛材) 50% " (A2,A3:ウェブ) 75% 局部座屈 (A1~A3:下フランジ)	モデルA1~A3 板厚減少率 25% 横倒れ座屈 50% " 局部座屈 (下フランジ) 75% "	モデルA1~A3 板厚減少率 25% 局部座屈 (横構) 50% " 局部座屈 (下フランジ) 75% "	モデルA1~A3 板厚減少率 25% 局部座屈 (下フランジ) 50% " " 75% " "
座屈固有値減少率				
最大主応力増加率				

図-4.12 解析の条件及び結果 (1)

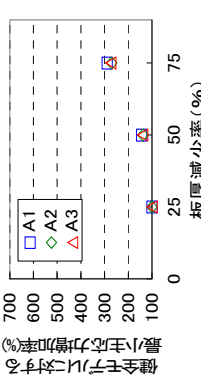
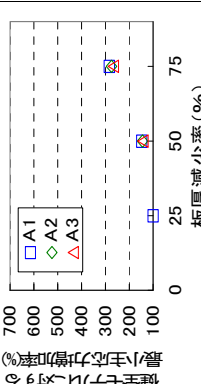
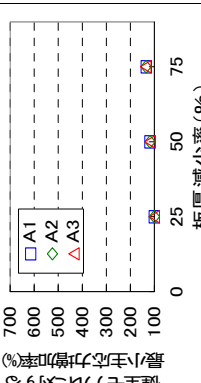
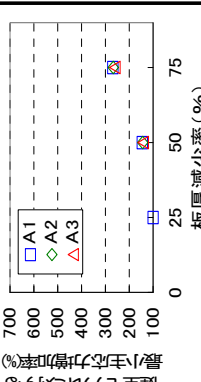
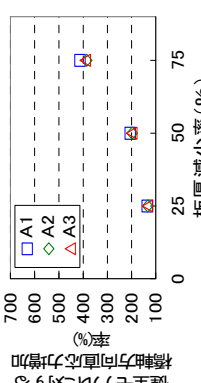
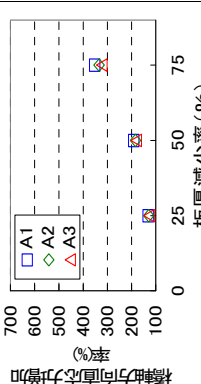
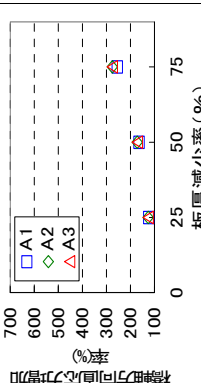
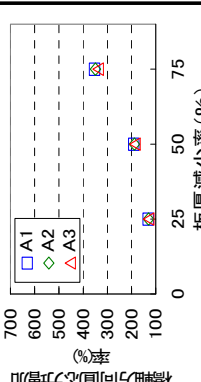
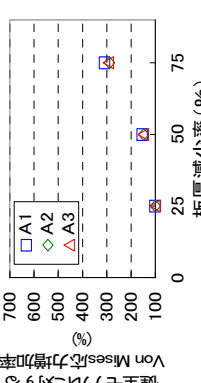
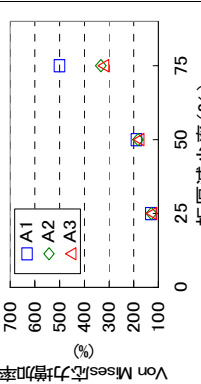
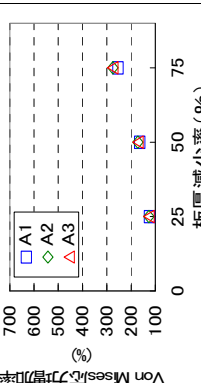
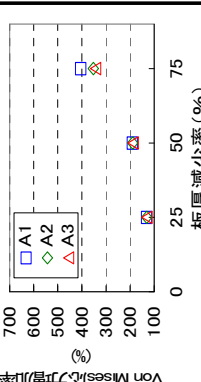
載荷方法	Vs(鉛直荷重・支点上) 載荷面積0.4m x 0.2m =0.08m ² 分布荷重強度 100kN/0.08m ² =1.25N/mm ²	V(鉛直方向) 分布荷重強度 1kN/1m ² =1kN/mm ²	A(橋軸直角方向) 分布荷重強度 1kN/1m ² =1kN/mm ²	L(橋軸方向) 分布荷重強度 1kN/1m ² =1kN/mm ²
最小 主応力 増加率	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>
直応力 増加率	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>
Von Mises 応力 増加率	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>	 <p>Y-axis: 健全率に對する増力増加率 (%) (0-700) X-axis: 板厚減少率 (%) (0-75) Legend: A1 (square), A2 (diamond), A3 (triangle)</p>

図-4.12 解析の条件及び結果 (2)

(1) 鉛直方向

鉛直方向荷重載荷各々の解析結果をまとめると、以下のような項目が挙げられる。

(i) 鉛直方向荷重 (支点上)

- 腐食モデル 2 と腐食モデル 3 は、板厚減少率 75%未満における座屈固有値の低下はほとんどなく、座屈位置も健全モデル同様主桁ウェブにおいて局部座屈が生じている。
一方、腐食モデル 1 では、板厚減少率に沿って着実に座屈固有値が低下しており、局部座屈は垂直補剛材に起きている。
このことから鉛直荷重状態については、垂直補剛材の腐食範囲が広い場合には耐荷力低下が大きくなる場合があると考えられる。
- 腐食パターンの違いによる座屈固有値の相違よりも、板厚減少率の影響が支配的になっている。これは、垂直補剛材の断面積の増減が局部座屈に大きく影響するためである。実橋では垂直補剛材の溶接による主げたウェブの初期ひずみ、上下フランジとの接合条件なども座屈耐荷力に影響が大きいと考えられ、実橋に対する精度の高い評価を行うには今後それらの影響についても検討が必要である。

(ii) 鉛直方向荷重 (桁全長)

- いずれの腐食モデルにおいても、板厚減少 75%未満では桁全体の横倒れ座屈が優先して起きている。その時の座屈固有値を比較しても、健全モデルと各腐食モデルでほとんど差が生じていない。このことから、この荷重状態については、桁端部のみの局部的な腐食が耐荷力低下に及ぼす影響は小さい。
- いずれの腐食モデルにおいても、板厚減少が 75%で下フランジに局部座屈が起きている。

(2) 橋軸直角方向

橋軸直角方向荷重載荷の解析結果をまとめると、以下のような項目が挙げられる。

- いずれの腐食モデルにおいても、板厚減少 75%未満では横構の座屈が優先して起きている。そのときの座屈固有値を比較しても健全モデルと各腐食モデルとでほとんど差が生じていない。このことからこの荷重状態については、桁端部の腐食が耐荷力低下に及ぼす影響は小さいと推測される。
- いずれの腐食モデルにおいても、板厚減少 75%で下フランジに局部座屈が起きている。また、板厚減少率に対する座屈固有値の低下が少なく、板厚減少 75%においても健全モデルに対して 50%程度しか座屈固有値が低下していない。この荷重状態については、対傾構や横構によって荷重が他の腐食を想定していない桁に分配しているため耐荷力があまり低下していないためである。なお実橋では不可避な初期不整や不均等な荷重分担の影響が考慮されていないため実橋との対比は今後さらに詳細な検討が必要である。

(3) 橋軸方向

- いずれの腐食モデルにおいても、板厚減少にともなって座屈固有値が低下しており、

局部座屈も全て下フランジに起きている。また、板厚減少率に対する座屈固有値の低下が著しく、板厚減少 75%では健全モデルに対して 5%程度まで座屈固有値が低下している。このことから、この荷重状態については、下フランジの腐食が耐力低下に大きく影響し、その板厚減少率も重要な要因であるといえる。

4. 2. 5 まとめ

- ① 支点上の荷重に対しては、支点部の柱構造で形成している垂直補剛材に大きな腐食がある場合には比較的少ない板厚減少であっても耐力が低下する可能性がある。
- ② 橋軸方向荷重以外の荷重ケースにおいて、板厚減少率 50%程度では、健全モデルと変わらない座屈固有値を有しているが、ある一定以上の減少率に達すると座屈固有値が急減する。
- ③ 橋軸方向荷重においては、板厚減少率 50%においても座屈固有値が減少し、板厚の減少に対して敏感であることが分かった。
- ④ 腐食の進行による耐力への影響としては座屈耐力の低下が支配的になると考えられる。したがって実橋の耐力を精度よく評価するためには、実橋で不可避な、溶接ひずみなどの初期不整や部材の荷重分担の不均衡などを考慮することが必要である。

4.3 ソールプレートの影響解析

4.3.1 ソールプレート影響解析(その1 ソールプレートの効果)

(1)解析モデルの設定

4.2における腐食形態の違いの解析では、拘束条件は解析モデル両端の垂直補剛材と下フランジが接続する線を始点位置とし、このライン上の節点を全方向拘束していた。ここではソールプレートについてもモデル化して解析を実施した。なお、荷重ケースは橋軸方向荷重載荷とし、ソールプレートを全て2層のソリッド要素でモデル化した。

解析モデルを図-4.14 に示す。

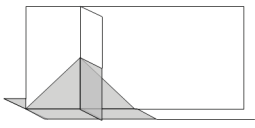
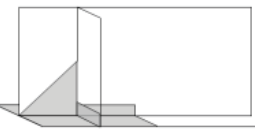
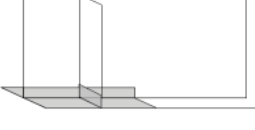
腐食解析モデル		板厚減少率		
		25%	50%	75%
腐食モデル1 (B1)		B1-25	B1-50	B1-75
腐食モデル2 (B2)		B2-25	B2-50	B2-75
腐食モデル3 (B3)		B3-25	B3-50	B3-75

図-4.13 腐食解析モデル一覧

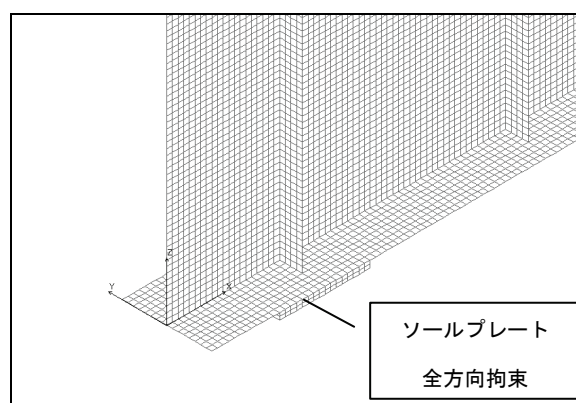


図-4.14 下フランジ解析モデル図(上からの視点)

(2)荷重の載荷方法

載荷荷重は、4.2腐食形態による影響解析において、橋軸方向載荷において、板厚減少率50%においても座屈固有値が減少し、板厚の減少において敏感であることから、橋軸方向のみの載荷とした。

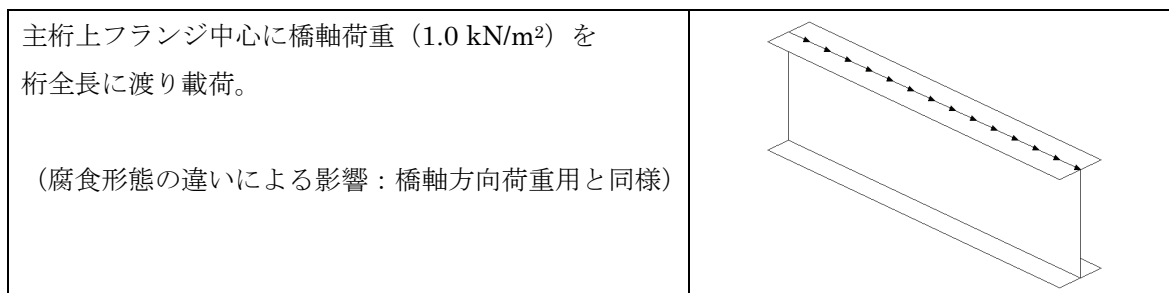


図-4.15 橋軸方向荷重載荷方法

(3)耐荷力の評価方法

健全モデルの FEM 解析も同時に行い、各腐食モデルの解析結果は、健全モデルの解析結果との相対評価により判断を行う。評価項目としては、以下の3項目とした。

①座屈固有値の低下率

弾性座屈解析により、健全モデルと各腐食モデルの座屈固有値を比較し、その低下率を耐荷力の評価基準にする。

②座屈位置

弾性座屈解析により、健全モデルと各腐食モデルの座屈位置を比較し、評価基準にする。

③作用応力の上昇率

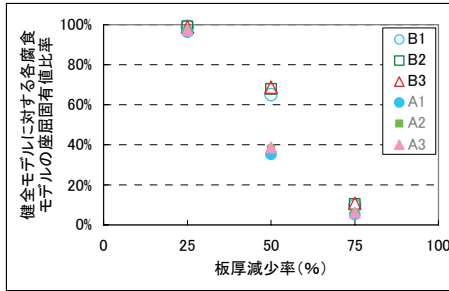
弾性静解析により、健全モデルと各腐食モデルの作用応力を比較し、その上昇率を耐荷力の評価基準にする。また、座屈解析で局部座屈が発生した位置について、健全モデルと各腐食モデルの作用応力性状を比較する。

(4) 解析結果

以上の条件で解析した結果を図-4.16～19に示す。

詳細な結果は、【付録 2】に添付する。

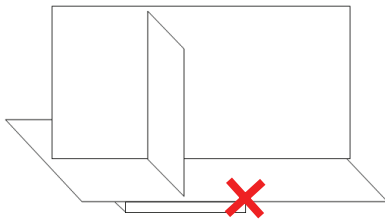
①座屈固有値



解析モデル	減少率	座屈固有値	解析モデル	減少率	座屈固有値
健全	- 100	100%	健全	- 100	100%
B1	- 25	99%	A1	- 25	96%
	- 50	65%		- 50	35%
	- 75	10%		- 75	5%
B2	- 25	99%	A2	- 25	97%
	- 50	68%		- 50	38%
	- 75	10%		- 75	6%
B3	- 25	99%	A3	- 25	97%
	- 50	69%		- 50	39%
	- 75	11%		- 75	6%

図-4.16 座屈固有値の比率

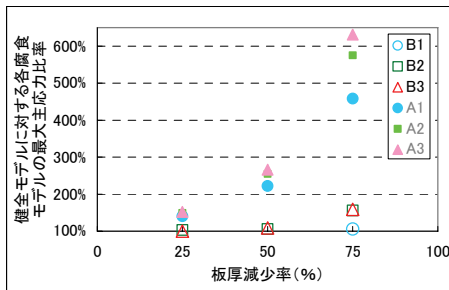
②座屈位置



解析モデル	座屈位置
健全	- 100 ウェブ
B1	- 25 ウェブ
	- 50 下フランジ
	- 75 下フランジ
B2	- 25 ウェブ
	- 50 下フランジ
	- 75 下フランジ
B3	- 25 ウェブ
	- 50 下フランジ
	- 75 下フランジ

図-4.17 座屈位置

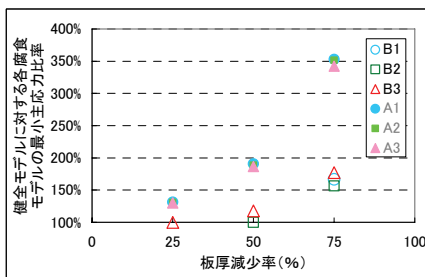
③最大主応力



解析モデル	減少率	最大主応力 (N/m ²)	解析モデル	減少率	最大主応力 (N/m ²)
健全	- 100	100%	健全	- 100	100%
B1	- 25	94%	A1	- 25	140%
	- 50	97%		- 50	222%
	- 75	106%		- 75	458%
B2	- 25	103%	A2	- 25	149%
	- 50	106%		- 50	255%
	- 75	156%		- 75	575%
B3	- 25	100%	A3	- 25	152%
	- 50	109%		- 50	266%
	- 75	159%		- 75	631%

図-4.18 最大主応力の比較

④最小主応力



解析モデル	減少率	最小主応力 (N/m ²)	解析モデル	減少率	最小主応力 (N/m ²)
健全	- 100	100%	健全	- 100	100%
B1	- 25	95%	A1	- 25	131%
	- 50	97%		- 50	191%
	- 75	167%		- 75	353%
B2	- 25	92%	A2	- 25	131%
	- 50	100%		- 50	189%
	- 75	156%		- 75	352%
B3	- 25	100%	A3	- 25	130%
	- 50	118%		- 50	187%
	- 75	177%		- 75	342%

図-4.19 最小主応力の比較

(5) まとめ

橋軸方向荷重に着目しソールプレートの影響による検討解析の結果をまとめると、以下のような項目が挙げられる。

- ソールプレートの影響を考慮した場合、腐食の範囲にかかわらず、板厚減少率 25% の場合は健全モデルと同様、主桁のウェブで局部座屈が生じており、50%以上になると主桁下フランジにおいて局部座屈が生じている。
- ここでの荷重条件では下フランジの座屈が先行して耐荷力喪失が生じるため、ソールプレートのモデル化の影響は、座屈固有値の減少、発生応力ともにソールプレートをモデル化しないケースに比べて大きな差異は生じない。
- 今後、水平方向載荷以外の荷重ケースについて評価を行い、桁端部の腐食に対する解析的検討におけるモデル化方法などさらなる検討が必要である。

4.3.2 ソールプレート影響解析(その2 ソールプレートと腐食範囲の関係)

(1) 解析モデルの設定

ここでは下フランジおよびソールプレートの腐食領域の範囲を変化させ耐荷力がどのくらい変化するかを調査した。

解析モデルはモデル3の下フランジの腐食範囲を変化させることとし、50%板厚減少と75%板厚減少とし、腐食の範囲の長さをソールプレート内部腐食(ソールプレート内とする)、ソールプレート外部腐食(ソールプレート外とする)、モデル3と同じ範囲の腐食(広範囲とする)の3段階とした。

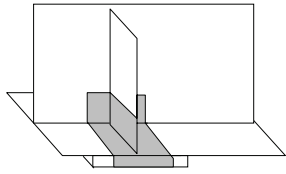
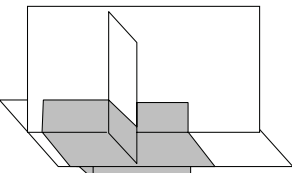
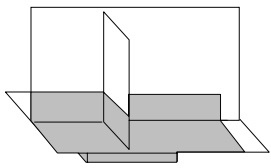
腐食解析モデル		板厚減少率	
		50%	75%
腐食モデル1 : ソールプレート内 (C1)		C1-50	C1-75
腐食モデル2 : ソールプレート外 (C2)		C2-50	C2-75
腐食モデル3 : 広範囲 (C3)		C3-50	C3-75

図-4.20 腐食解析モデル一覧

(2) 荷重の載荷方法

載荷荷重は、4.3.1と同様の理由から、橋軸方向のみの載荷とした。

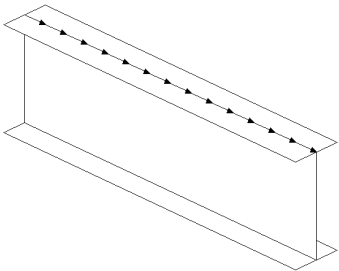
主桁上フランジ中心に橋軸荷重(1.0 kN/m ²)を桁全長に渡り載荷。 (腐食形態の違いによる影響: 橋軸方向荷重用と同様)	
--	--

図-4.21 橋軸方向荷重載荷方法

(3) 耐力の評価方法

健全モデルの FEM 解析も同時に行い、各腐食モデルの解析結果は、健全モデルの解析結果との相対評価により判断を行う。評価項目は 4.3.1.と同様に以下の 3 項目とした。

- ①座屈固有値の低下率
- ②座屈位置
- ③作用応力度の上昇率

(4) 解析結果

以上の条件で解析した結果を図-4.22～25 に示す。

詳細な結果は、【付録 3】に添付する。

①座屈固有値

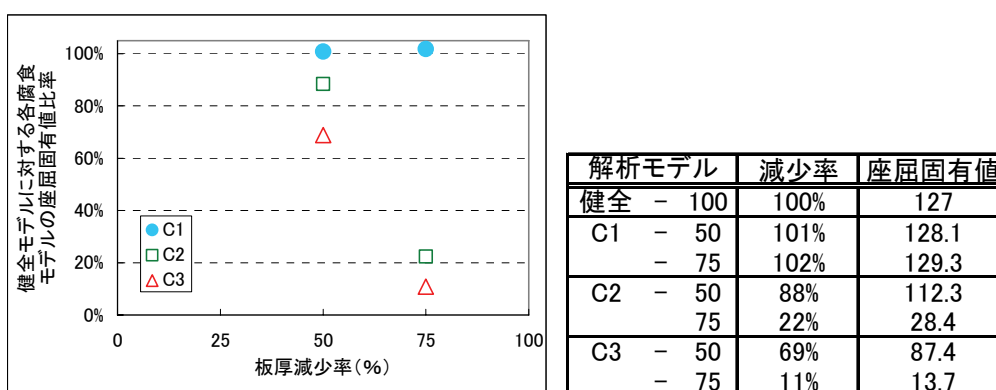


図-4.22 座屈固有値の比率

②座屈位置

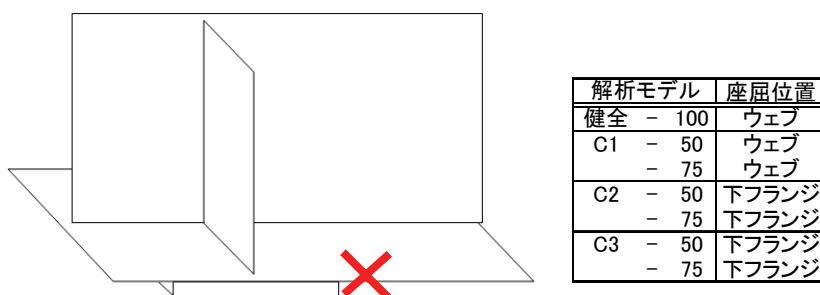
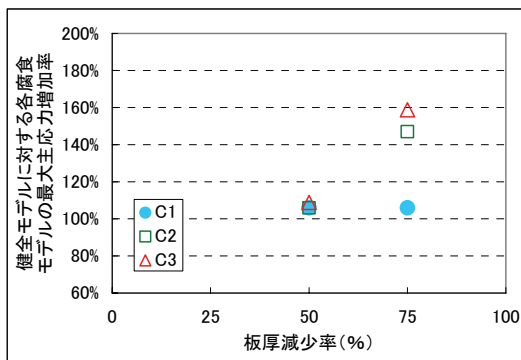


図-4.23 座屈位置

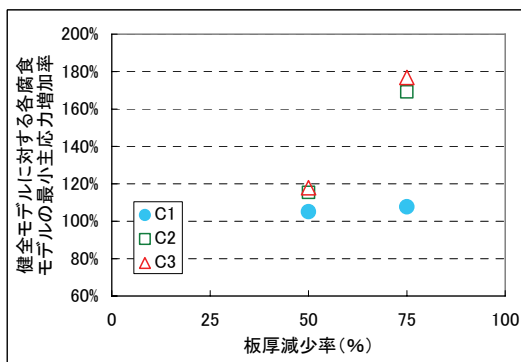
③最大主応力



解析モデル	減少率	最大主応力 (N/m ²)
健全	100	3.4
C1	50	3.6
	75	3.6
C2	50	3.6
	75	5
C3	50	3.7
	75	5.4

図-4.24 最大主応力の比較

④最小主応力



解析モデル	減少率	最小主応力 (N/m ²)
健全	100	-3.9
B1	50	-4.1
	75	-4.2
B2	50	-4.5
	75	-6.6
B3	50	-4.6
	75	-6.9

図-4.25 最大主応力の比較

(5) まとめ

橋軸方向荷重に着目しソールプレートの影響による検討解析の結果および腐食範囲の影響による検討解析結果をまとめると、以下のような項目が挙げられる。

- 腐食範囲がソールプレートの範囲内にとどまる場合は耐荷力の低下は生じにくい腐食範囲がソールプレート外まで及ぶと耐荷力は急激に低下し、例えば板厚減少率 50%のときは健全モデルと比べて耐荷力は 90%程度に低下し、板厚減少率 75%のとき耐荷力は 20%程度に大きく低下している。

また、板厚減少率に着目すると板厚減少 50%では腐食範囲が広範囲でも健全モデルの耐荷力の 70%程度であるが板厚減少 75%では腐食範囲がソールプレート先端を越えると耐荷力が 20%程度に低下している。

したがって、下フランジのみの局所的な腐食であってもソールプレート範囲を超える場合、板厚減少が生じると主桁の座屈が生じる危険がある。

- 腐食範囲の影響に関する検討解析の結果、モデル A1～A3 は支点部付近から座屈しているがソリッドモデルはソールプレート先端の先が座屈している。

4. 3. 3 ソールプレート影響解析(その3 ソールプレートと局所的な断面減少の関係)

(1) 解析モデルの設定

シェルモデルの解析結果より下フランジの腐食が耐荷力の低下に大きな影響を及ぼしていることが判った。ここでは下フランジの腐食領域の範囲を変化させ耐荷力がどのくらい変化するかを調査した。

解析モデルは健全なモデルに対し、垂直補剛材と下フランジ、ウェブと下フランジ、下フランジのソールプレートがなくなる界面の3種類に意図的にスリットを入れ局所的な断面減少を再現する事とした。

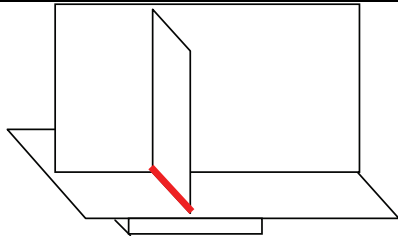
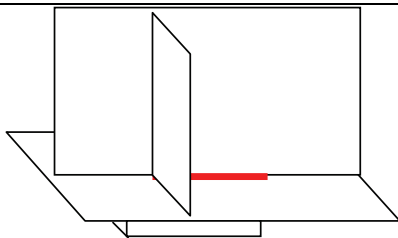
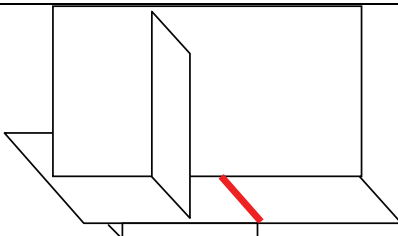
破断解析モデル	
破断モデル 1 (D1)	
破断モデル 2 (D2)	
破断モデル 3 (D3)	

図-4.26 破断解析モデル一覧

(2) 荷重の載荷方法

載荷荷重は、4.3.1と同様の理由から、橋軸方向のみの載荷とした。

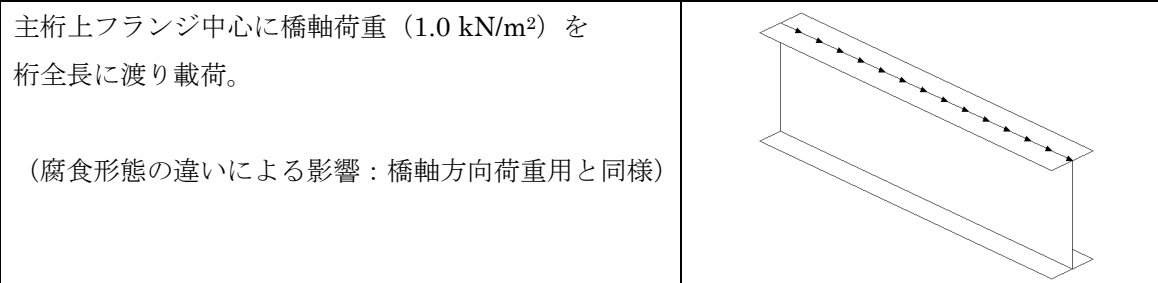


図-4.27 橋軸方向荷重載荷方法

(3) 耐荷力の評価方法


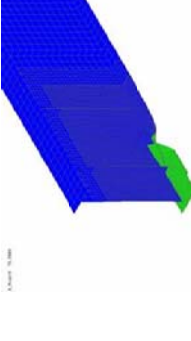
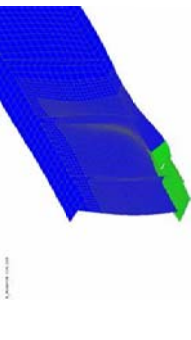
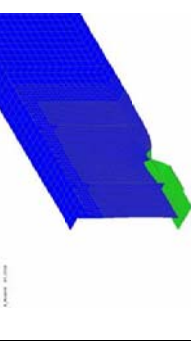

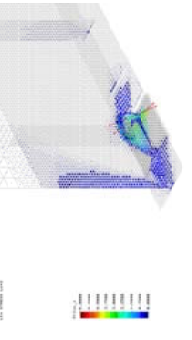
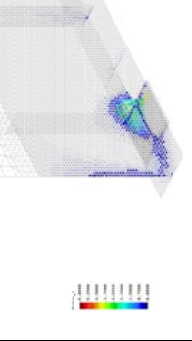
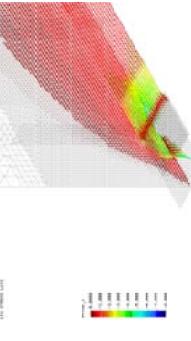
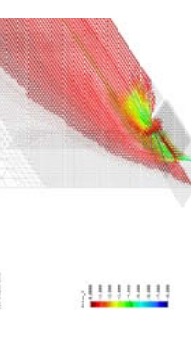
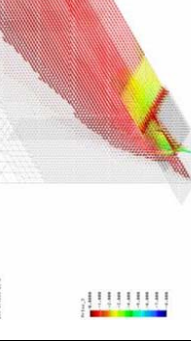

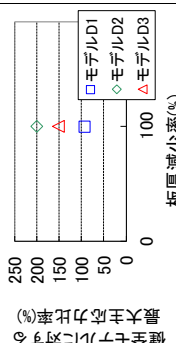
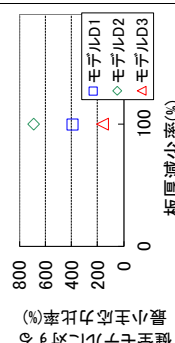
健全モデルの FEM 解析も同時に行い、各腐食モデルの解析結果は、健全モデルの解析結果との相対評価により判断を行う。評価項目は 4.3.1.と同様に以下の 3 項目とした。

- ①座屈固有値の低下率
- ②座屈位置
- ③作用応力度の上昇率

(4) 解析結果

以上の条件で解析した結果を図-4.28 に示す。

詳細な結果は、【付録 4】に添付する。

モデル	1	2	3
載荷方向 	L(橋軸方向)		
座屈固有値 			
最大主応力 			
最小主応力 			
健全モデルに対する 最大主応力比率(%) 	健全モデルに対する 最大主応力比率(%) 	健全モデルに対する 最大主応力比率(%) 	

図・4.28 解析ケースと結果

(5) まとめ

水平荷重着目し腐食により亀裂（スリット）が発生した場合の検討解析結果をまとめると、以下のような項目が挙げられる。

- 亀裂のパターンに着目するとソールプレートエッジと下フランジの溶接部（モデル D2）に亀裂がある場合が他の亀裂パターンの場合に比べて最大主応力、最小主応力ともに大きくなっている。このことからソールプレート先端に亀裂が生じることによって応力集中を引き起こし橋梁の耐荷力低下の原因となっていると考えられる。
- 亀裂のパターンによる座屈固有値に着目すると健全モデルに比べると亀裂モデルは座屈固有値が低下している。同程度の腐食範囲のモデルと比較するとソールプレートエッジと下フランジの溶接部（モデル D2）は座屈固有値が大きくなっている。これは下フランジが座屈を起こす位置であるため、ここに亀裂があることによって圧縮力が分散され座屈を引き起こしにくくなっていると考えられる。

4. 4 解析結果のまとめ

3章を踏まえた、腐食の解析結果以下の事が明らかとなった。

- 3章で比較的多く発生しているとされた3ケース（図-4.2）の腐食形態についてシェルモデルで解析を行った結果、腐食の形態よりも、腐食による板厚の減少が耐荷力に大きな影響を及ぼし、板厚の減少量が、50～75%にかけて座屈固有値を大きく低下させる事が分かった。
- ソールプレートの影響を考慮した場合、比較的多く発生している腐食形態での影響は、ソールプレートのある場合と大きな違いは見られなかった。
- ソールプレートによる拘束効果は、下フランジの腐食範囲が、ソールプレートを跨ぐか否かで影響が大きく現れる。
- 腐食による亀裂を再現した場合、下フランジのソールプレートの先端に亀裂が発生したときに、応力集中等の影響により耐荷力の低下に大きく影響を及ぼすと考えられる。