

第 6 回 定 期 研 究 会

平成24年度SGST第6回定期研究会 議事録

日時：平成24年12月14日(金) 16:00～17:30

場所：名城大学 名駅サテライト

出席者：谷川（コベルコ）、安藤（一）、加藤（海洋）、加藤（中日本 C）、
園部（JIP）、萬谷（川田）、判治、近藤（名城大）、山田尚、山田忠、三輪（日車）、
佐光（維持管理）、渡邊（岐阜高専）、日下部、家田、種岡、村上、三浦（瀧上）、
野田、山田（中日本ハイウェイ）、川瀬（日中 C）

以上 21 名（敬称略）

1. 定期研究会(16:00～17:30)

講演者：独立行政法人 海上技術安全研究所構造解析・加工研究グループ

主任研究員 山田 安平

講演項目：【陽解法 FEM による船舶衝突シミュレーション ～緩衝型船首構造の効果～】

講演内容：【陽解法 FEM による船舶衝突シミュレーション ～緩衝型船首構造の効果～】：

大型タンカーからの大規模油流出防止が国際的な社会問題となっている。特に、原油の入手を輸入に頼る我が国にとって大型タンカーの船体構造規制は重要な問題の 1 つである。大型タンカーは国際基準により、二重船殻化（ダブル・ハル）が義務づけられている。しかしながら、大型で高速航行する船舶が衝突した場合には、ダブル・ハルであっても、荷油タンク漏洩が生じ、付近の沿岸に甚大な海洋汚染をもたらす事故が生じている。そこで、国土交通省主導のプロジェクトとして、船舶衝突時により多くのエネルギーを吸収し荷油タンク漏洩を軽減・防止するための「緩衝型船首構造」に関する研究・開発が実施された。

本講演では、緩衝型船首構造に関する研究について、船舶と船舶の 2 船全船大規模 3 次元非線形構造解析シミュレーションの解析例を用いて解説して頂いた。

以上

W G 成 果 報 告

補修・補強設計の合理化研究委員会 報告

研究成果概要

この研究委員会では、鋼橋の損傷事例・補修補強事例を広く集め、（主に設計的な）問題点を議論した（資料-1 研究委員会起案書を参照）。議論においては、典型的な問題に対して以下の観点を重点とした。

- ・設計基準に定められた荷重ではなく、現実の荷重（現実の交通，サイトの想定地震動）を考えることによる合理化。
- ・設計基準に定められた安全係数ではなく、供用中の構造物の現実に合わせた安全性を確保（信頼性）することによる合理化。場合によっては、安全係数が設計基準よりも大きくする場合もあり得る。
- ・荷重による作用の解析モデル，部材の強度解析モデルをさらに現実に近いものとする。
- ・工事施工性への配慮，および設計・施工を合わせたトータルコストの削減効果を考慮する。

研究委員会は H21 年 12 月から始め、H24 年 6 月まで 13 回開催した。13 回の討議内容は以下のとおりである。

第 1 回～第 3 回：

研究方針，事例紹介，自由討議，ケーススタディーの課題選定

第 4 回～第 5 回

鈑桁端支点付近ウェブ下端の腐食の補修・補強を課題として選定（資料-2 収集事例を参照）

第 6 回～第 13 回

腐食した鈑桁端支点部を FEM によりモデル化し、弾塑性有限変位解析で耐荷力を検討した。腐食の大きさ・範囲をパラメータとして、支承条件とモデル端の境界条件についても色々なケースを解析し、腐食した桁端部の耐荷力の推定方法を検討した。（資料-3 解析結果のまとめを参照）

ただし、支点部を補強した場合は、時間がなく検討できなかった。

平成 21年 10月 23日

東海構造研究グループ代表
後藤 芳顕 殿

SGST 研究委員会 起案書

起案者氏名 織田 博孝
所属機関 瀧上工業

(株)

下記の通り、SGST 研究委員会（ワーキンググループ）を立ち上げたく、起案書を提出します。

研究委員会名： 補修・補強設計の合理化研究委員会

研究趣旨：

鋼橋の新設は全国ではほぼ一律の基準に従って設計・施工される。一律の基準に従うのは所定の安全水準を確保するためであり、設計手法は誰もが対応できるように安全側にほぼ標準化されている。また、長年の鋼橋の供用環境は、設計時に一定の条件で想定せざるを得ないという意味もあると思われる。

一方、供用中の橋は現実の多様な条件の下にあり、橋の補修・補強は一律の基準に従うと過大あるいは不足になる可能性がある。また、現地条件によっては工事の施工方法に、新設とは異なる制約が生じる。したがって、補修・補強の設計は個々の現実の条件に合わせて行うのが合理的と思われる。

そこで、この研究委員会では現行の設計基準からフリーとして、補修・補強設計の合理化を検討する。課題は次の3点が考えられる。

- ① 荷重（現実の交通、サイトの想定地震動）の違い、および荷重変更の効果
- ② 作用解析モデル・強度解析モデルの精密化、およびモデル変更の効果
- ③ 工事施工性への配慮、およびコストへの配慮あるいは削減効果（解析コストも含む）

研究の進め方は、過去の補修・補強事例を元に、現行基準にとらわれず自由な発想により、補修・補強設計合理化のケーススタディーを実施する。補修・補強事例の選定は、耐震補強、荷重増加に対する補強、拡張、腐食・疲労に対する補修・補強など、鋼橋のすべてを含める。時間・費用とも制約があるため、研究成果は明確な結論が出なくても、今後の研究の端緒になればよいと考えている。

また、地方分権が求められている最近の状況があり、各地方の要請に応じた補修・補強を実現することが、今後の課題になる可能性もある。

収集事例

No.	補修・補強概要	問題点, 補足など
1	鈑桁端支点付近ウェブ下端の腐食に対する当板補強	【資料 1-2】 (添付資料 鋼道路橋の支点上補剛材の補修設計, 鋼構造論文集 Vol.17) <u>補強方法</u>: 当板(ウェブには高力ボルト, 下フランジには溶接で接合) <u>問題点</u>: 荷重伝達の考え方, 溶接の適否, 補強後の強度評価
2	鈑桁橋の拡幅(桁増設)に伴う既設桁の補強	【資料 1-3】 <u>補強方法</u>: 既設の単純合成桁に鋼床版鈑桁を横桁で連結. <u>問題点</u>: 合成桁の上フランジの補強が困難. 下フランジの補強はひれを付けたような構造で連続性が困難で補強効果が実証されていない? ランプ部で実際の交通と設計活荷重の作用状態は異なると思われるが, 考慮していない.
3	ラーメン橋の耐震補強	【資料 1-4】 <u>補強方法</u>: ダンパースプレース設置, 支点部の変位制限, 段差防止構造設置 <u>問題点</u>: 全体的な耐震性の評価(変位制限, 段差防止構造との衝突, その場合のダンパーの有効性)
4	箱桁橋(箱桁内部の腐食など)の補修	【資料 1-4】 <u>補修方法</u>: 支承取替え, 床版下面補修, ブラケット取替え, 鋼部材補修(腐食部を切断し, ボルトで当板) <u>問題点</u>: 他の腐食事例にも言えるが, 応力再分配(特に箱桁下フランジの腐食). また, 当板による補修目的と効果の不理解?
5	上路ランガー桁のB活荷重対応補強	【資料 2-1】 <u>補強方法</u>: RC 床版→鋼床版への置き換え <u>問題点</u>: 細部構造困難(疲労, 防食に課題), 実際交通量と設計活荷重の差
6	上路単純トラス橋のB活荷重対応補強	【資料 2-1】 <u>補強方法</u>: 上弦材=断面補強, 下弦材=補強トラス部材追加 <u>問題点</u>: 上弦材の実際の補強効果が曖昧
7	リベット式トラス橋のB活荷重対応補強	【資料 2-1】 <u>補強方法</u>: 圧縮部材の当板補強, 格間部材追加による有効座屈長の低減 <u>問題点</u>: 「引張材 30%, 圧縮材 20%の超過は補強しない」の妥当性の評価, リベット部材の実際の強度
8	主桁軸に偏心がある鋼床版橋への落橋防止ケーブル追加	【資料 2-2】 <u>補強方法</u>: 一方は主桁ウェブ, 他方は横リブ下フランジにケーブル定着用の鋼製ブラケットを取り付け. <u>問題点</u>: 荷重伝達経路, 補強構造が極めて簡単なモデルによっており, 設計者のセンスに左右されている.
9	上路アーチ橋の腐食に対する補修	【資料 2-3】 <u>補強方法</u>: アーチ格点, 縦桁, 横桁, 対傾構などへ当板, 部材取替えなど, 多岐に渡る補修 <u>問題点</u>: 補修後の強度評価(設計)が不明.
10	耐候性鋼鈑桁の腐食損傷	【資料 2-3】 <u>補強方法</u>: 損傷のみ. 未補修 <u>問題点</u>: 多岐, 多数の箇所の腐食損傷.

腐食した鈑桁端支点部の耐荷力解析結果のまとめ

1. CASE-1 から CASE-7 腐食欠損パターンを基本として、以下のパラメータとした FEM 解析を実施し、最大荷重との相関について調べた（全 61 ケース）.

・腐食欠損パターン

- CASE-1 ベースモデル（腐食欠損なく健全な状態）
- CASE-2 主桁ウェブ支間側のソールプレート上に腐食欠損
- CASE-3 主桁ウェブ桁端側のソールプレート上に腐食欠損
- CASE-4 支点上補剛材（片側）に腐食欠損
- CASE-5 支点上補剛材（両側）に腐食欠損
- CASE-6 支点上補剛材・主桁ウェブ十字に腐食欠損
- CASE-7 支点上補剛材・主桁ウェブ L 字に腐食欠損

- ・欠損幅：50mm, 100mm, ソールプレート幅, ソールプレート幅+50mm
- ・欠損高さ：30mm, 60mm, 100mm, 200mm
- ・残存板厚：0mm, 5mm, 7mm
- ・主桁フランジ厚：12mm, 19mm, 22mm
- ・支承条件：BP（支承板支承）、LB（線支承）、RB（ゴム支承）

2. 解析結果の概要

(1) 欠損モデル別の耐力比較

- ・最大荷重の高い順に並べると CASE-1, 2, 4, 3, 7, 5, 8, 6 となる.
- ・CASE-3 のウェブ欠損（桁端側）と CASE-5 の補剛材欠損（両側）は欠損幅が大きいと設計耐力を下回る.
- ・ウェブと補剛材欠損を組み合わせた CASE-6, 7, 8 についても、欠損幅が大きいと設計耐力を大幅に下回る.

(2) 支承タイプ別の耐力比較および既往論文との比較

- ・線支承は BP 支承またはゴム支承に対し、最大荷重が低くなる（受圧面積の影響を受ける）.
- ・ゴム支承と BP 支承の最大荷重に大きな差異はない.
- ・線支承モデルで解析した場合の最大耐力は既往の論文（同様の支点支持条件）とほぼ一致する.

(3) フランジ板厚が耐力に与える影響

- ・ベースモデルはせん断座屈が支配的なためフランジ厚の影響を受けない.
- ・CASE-2 のウェブ欠損（支間側）と CASE-4, 5 の補剛材欠損においては、フランジ厚が厚くなるにつれ最大荷重が直線的に増加する.

(4) ウェブ欠損幅が耐力に与える影響

- ・欠損幅がソールプレート幅より大きくなると耐力が急激に低下する.
- ・欠損幅が 50 mm, 100 mm の場合はベースモデルと耐力に差異がない.

(5) 欠損高が耐力に与える影響

- ・CASE-2 のウェブ欠損（支間側）および CASE-4 の補剛材欠損（片側）では欠損高の増大による耐力の低下は微小.

- ・ CASE-3 のウェブ欠損（桁端側）および CASE-5 の補剛材欠損（両側）では耐力が緩やかに低下する。

(6) 欠損部の板厚が耐力に与える影響

- ・ 欠損部の板厚が減少するにつれ、最大荷重は直線的に減少する。
- ・ CASE-5 の補剛材欠損（両側）において、板厚が 50%残存していれば設計耐力を下回らない。

(7) ウェブ・補剛材十字欠損における耐力

欠損幅

- ・ 欠損幅が増加するにつれ、最大荷重は減少する（2 次放物線）。
- ・ 欠損幅がウェブ・補剛材一律に 100 mm以上となると設計耐力を下回る。

欠損部の板厚

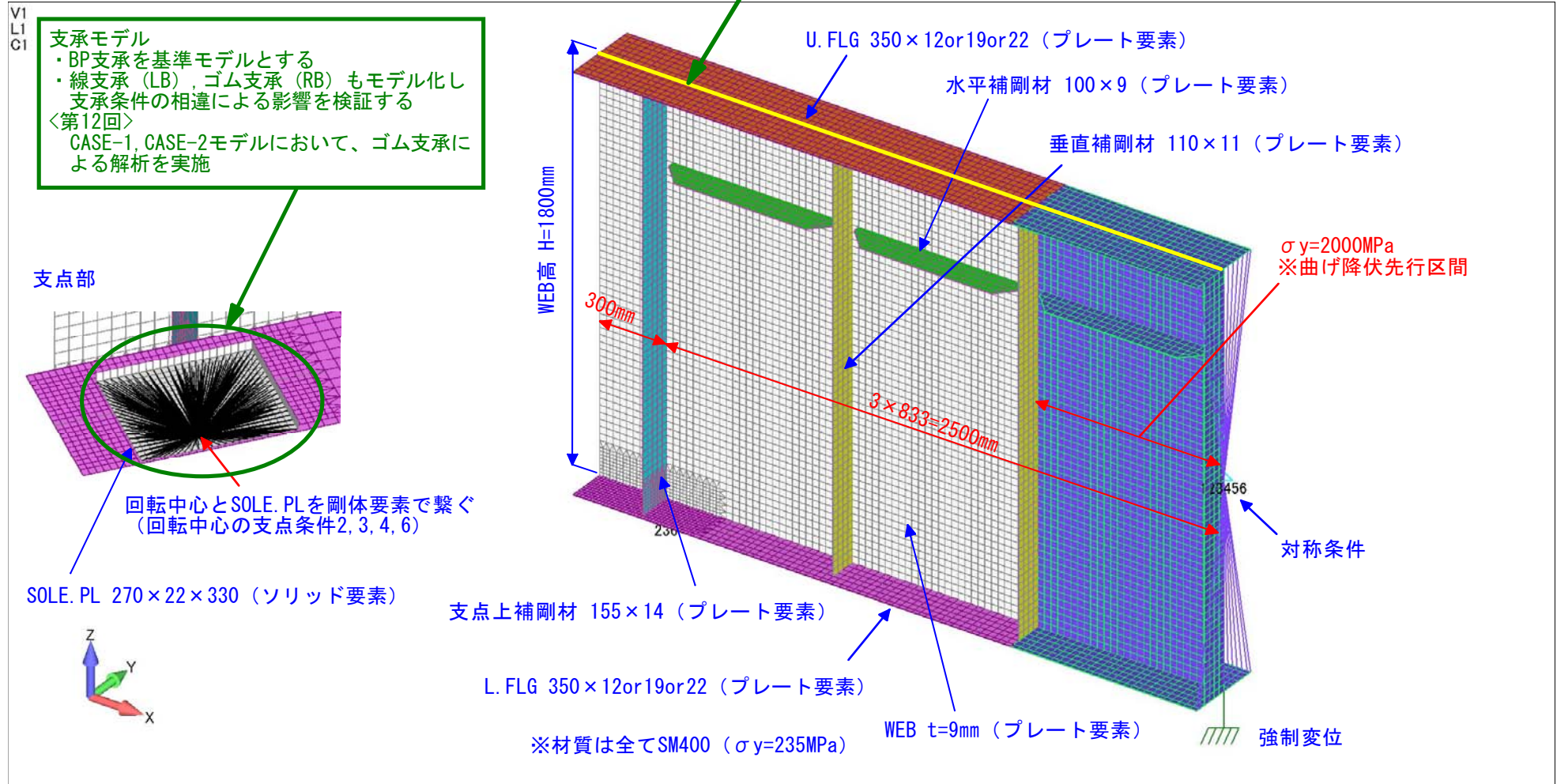
- ・ 全幅欠損（ウェブはソールプレート幅）した場合は、ウェブ欠損部の残存板厚によらず設計耐力を下回る。
- ・ 欠損幅が 50 mmの場合はウェブ欠損部の残存板厚によらず設計耐力を上回る。
- ・ 欠損幅が 100 mmの場合はウェブ欠損部の残存板厚が 0 mmとなると設計耐力を下回る（残存板厚がパラメータとなる）。

(8) ウェブ・補剛材 L 字欠損における耐力

- ・ 欠損幅が増加するにつれ、最大荷重は直線的に減少する。
- ・ 欠損幅が 100 mmを超え、全幅欠損（ウェブはソールプレート幅）する間に設計耐力を下回る。

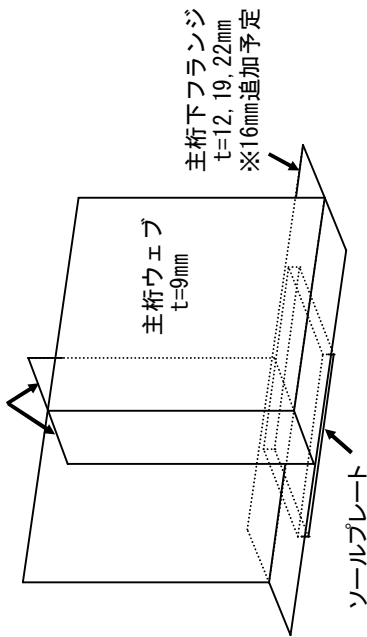
(9) 腐食欠損した支点部の耐力推定

- ・ 支点部の耐力は、ソールプレート上の有効断面負担分と下フランジのせん断負担分を合計した値でほぼ評価できる。ただし、欠損高さの影響は未検討で考慮していない。



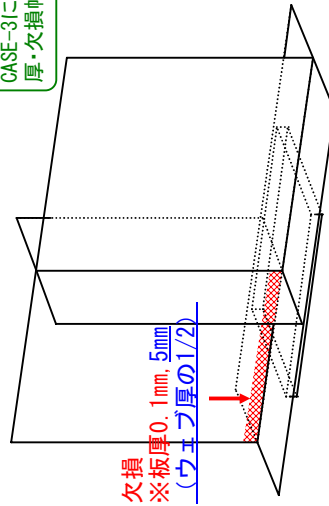
【腐食欠損モデル】

CASE-1 : ベースモデル (欠損なし)
支点上補剛材 $t=14\text{mm}$

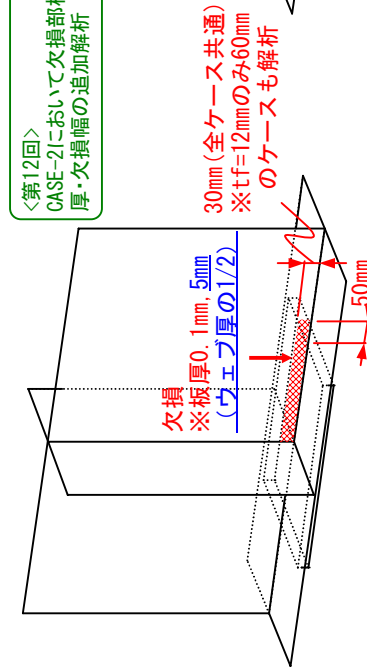


CASE-3 : ウェブ欠損 (桁端側)
※欠損幅 : 全幅

<第12回>
CASE-3において欠損部板厚・欠損幅の追加解析

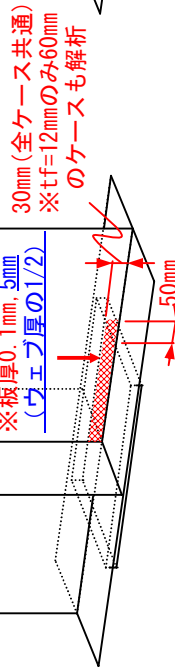


CASE-2 : ウェブ欠損 (支間側)
※欠損幅 : ソールプレート+50mm

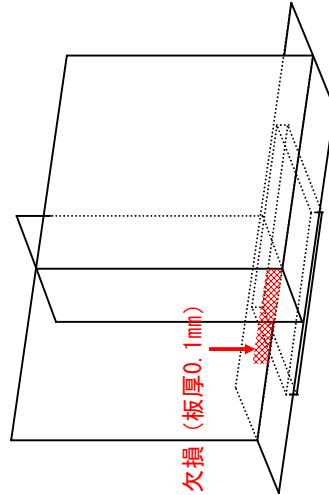


<第12回>

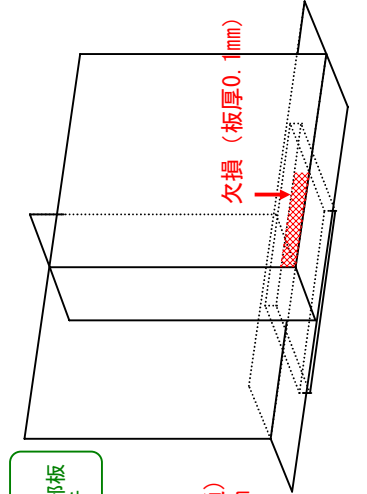
CASE-2において欠損部板厚・欠損幅の追加解析



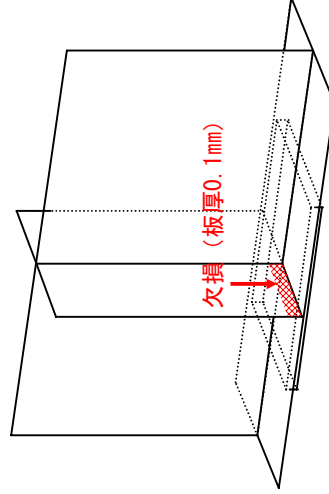
CASE-3' : ウェブ欠損 (桁端側)
※欠損幅 : 50, 100mm, ソールプレート上



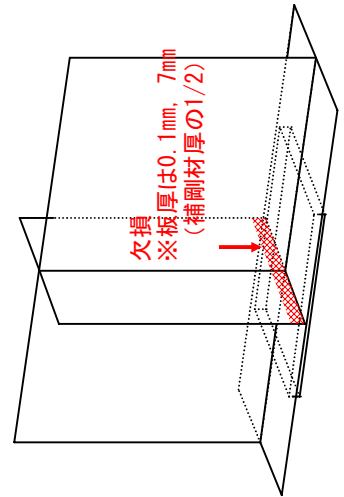
CASE-2' : ウェブ欠損 (支間側)
※欠損幅 : 50, 100mm, ソールプレート上



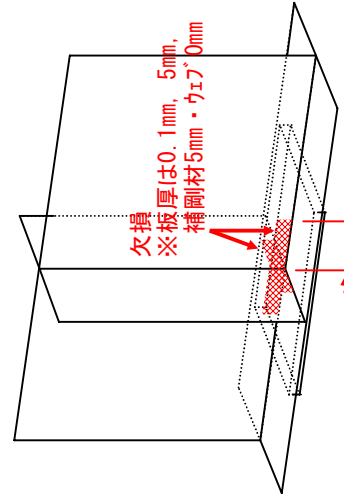
CASE-4 : 補剛材欠損 (片側)



CASE-5 : 補剛材欠損 (両側)

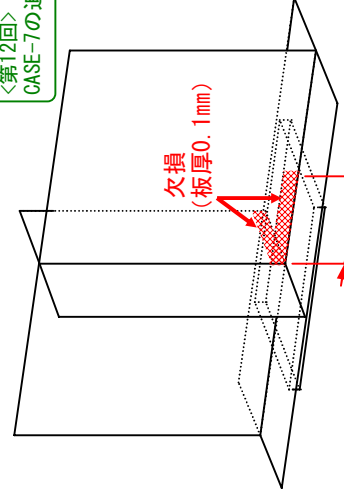


CASE-6 : 十字欠損 (ウェブ・補剛材)
※欠損幅 : 50, 100mm, 全幅



CASE-7 : L字欠損 (ウェブ・補剛材)
※欠損幅 : 50, 100mm, 全幅

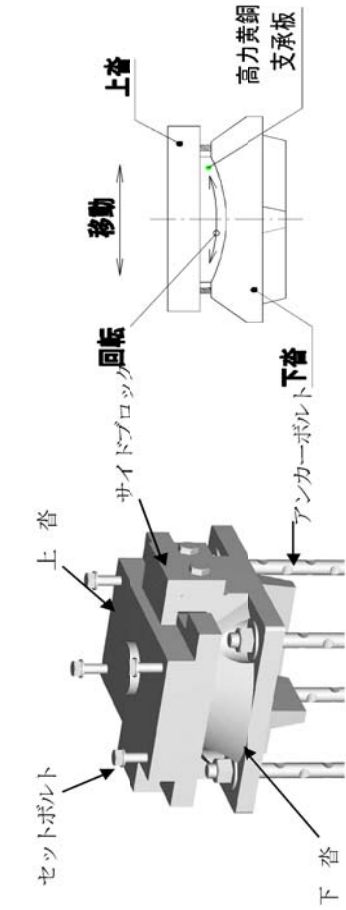
<第12回>
CASE-7の追加解析



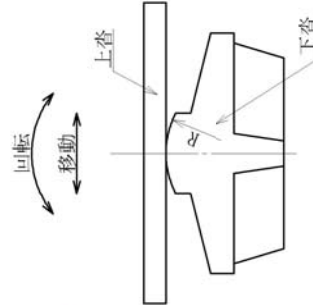
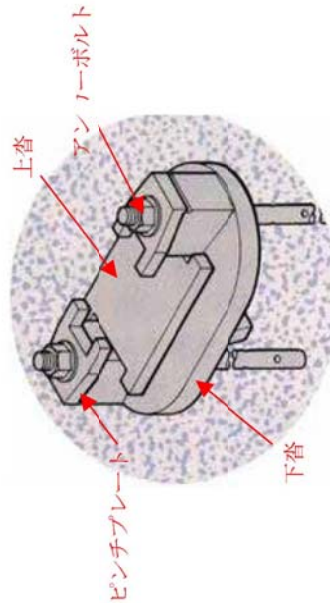
50, 100mm, 全幅
※ウェブはソールプレート幅まで欠損

50, 100mm, 全幅
※ウェブはソールプレート幅+50mmまで欠損

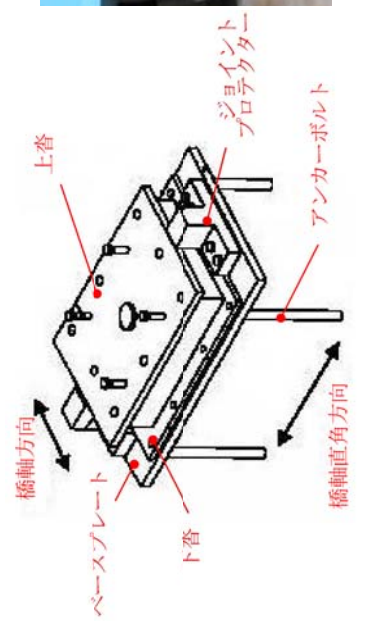
【支承モデル】
BP 支承
構造概要



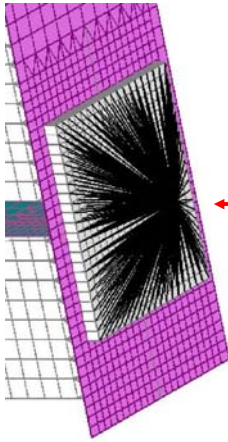
線支承 (LB)
構造概要



ゴム支承 (RB)

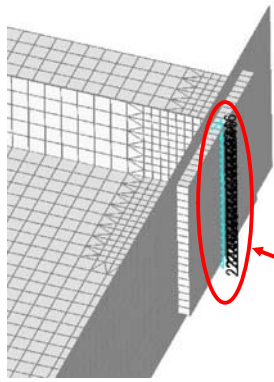


解析モデル

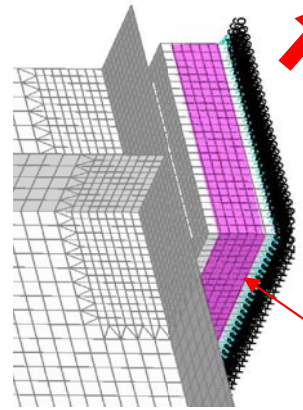


ソールプレートと支承の回転中心を
剛体要素でつなぎ、回転中心を拘束
※Y, Z軸方向変位およびX, Z軸回転を
拘束

解析モデル

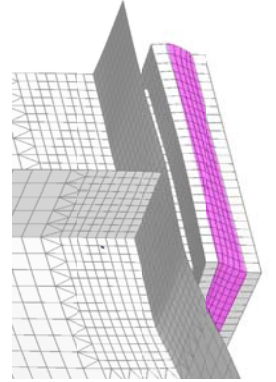


支点上補剛材直下のソールプレート
下面 (全幅) を拘束
※Y, Z軸方向変位およびX, Z軸回転を
拘束



ゴム管
※本検討では弾性係数 $E=255$ (N/mm²)

変形時



＜第12回＞
CASE-1のベースモデルとCASE-2のウェーブ欠損
(支間側) をゴム支承として追加解析

線支承は、文字通り鉛直荷重を下沓円柱面と上沓平面の接触 (線) で支持し、水平変位に対しては同様に上沓と下沓のすべり (鋼と鋼の組合せ) で追随させる構造とした支承である。また、回転変位に対しては下沓円柱面上をころがりにより追随できる機能を有する。

高力黄銅支承板は、要部に高力黄銅鋳物板 (ベアリングプレート) を用いた支承である。ベアリングプレートの形状は、上沓と接触する面を平面、下沓と接触する面を円柱面あるいは球面をしており、鉛直荷重を支持するとともに平面接触部で伸縮機能、曲面接触部で回転機能を受け持たせている。

3. 解析結果

3-1. 結果一覧表

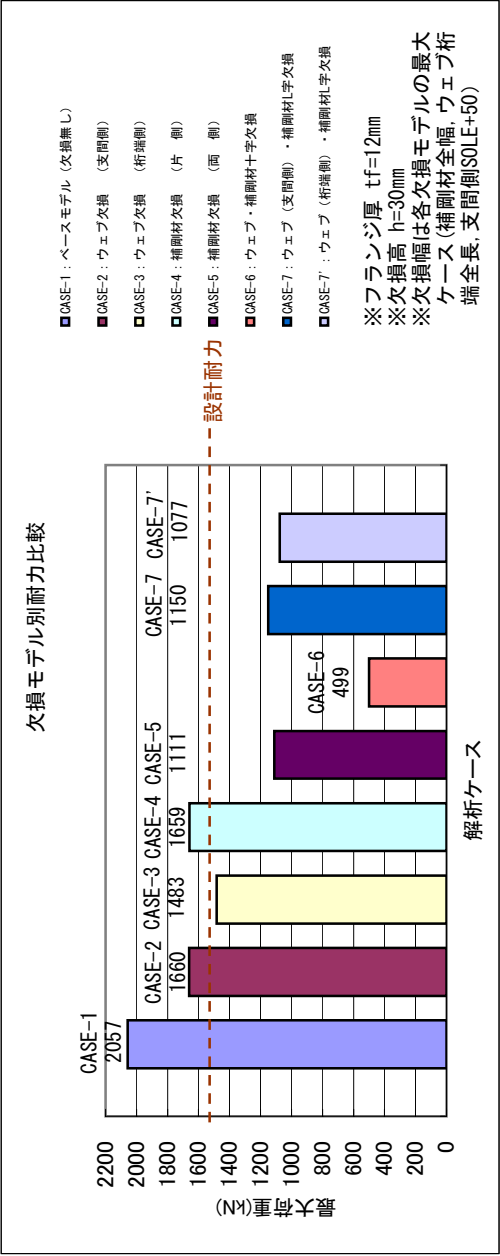
最大荷重一覧表 (1/2)

	フランジ厚 t f (mm)	支承 タイプ	欠損高 h (mm)	欠損幅 B (mm)	欠損部 残厚 (mm)	スカラップ の有無	最大荷重 P (kN)	設計 耐力比	ベースプレート 耐力比	既往の論文との比較		コメント
										論文値	比率	
設計耐力	-	-	-	-	-	無	1495	1.00	-	-	-	-
	12	BP	-	-	0.0	無	2057	1.38	-	-	-	-
	19	BP	-	-	0.0	無	2109	1.41	-	-	-	-
			-	-	0.0	有	2117	1.42	-	-	-	-
CASE-1 : ベースモデル (欠損無し)	19	LB	-	-	0.0	無	1936	1.29	-	1930	1.00	既往の論文と概ね一致する (±5%以内)
			-	-	-	有	1874	1.25	-	1930	0.97	
		RB	-	-	0.0	無	2148	1.44	-	-	-	-
			-	-	0.0	無	2075	1.39	-	-	-	-
CASE-2 : ウェブ欠損 (支間側)	12	BP	30	50mm	0.0	無	2069	1.38	1.01	-	-	耐力低下は10%程度
				100mm			2040	1.36	0.99	-	-	
				SOLE			1897	1.27	0.92	-	-	
			30	SOLE + 50mm	0.0	無	1660	1.11	0.81	-	-	
			60				1631	1.09	0.79	-	-	
			100				1627	1.09	0.79	-	-	
	19	BP	200	SOLE + 50mm	0.0	無	1568	1.05	0.76	-	-	耐力低下は10%程度
			30				2003	1.34	0.97	-	-	
			30				1862	1.25	0.88	-	-	
			30	SOLE + 50mm	0.0	有	1760	1.18	0.83	-	-	
			30				1912	1.28	0.92	-	-	
			30				1926	1.29	0.93	-	-	
CASE-3 : ウェブ欠損 (桁端側)	12	BP	30	50mm	0.0	無	2067	1.38	1.00	-	-	耐力低下は10%程度
				100mm			2038	1.36	0.99	-	-	
				SOLE			1881	1.26	0.91	-	-	
			30	全長	0.0	無	1483	0.99	0.72	-	-	
			60				1457	0.97	0.71	-	-	
			100				1415	0.95	0.69	-	-	
	19	BP	200	全長	0.0	無	1353	0.91	0.66	-	-	耐力低下は10%程度
			30				1890	1.26	0.91	-	-	
			30				1490	1.00	0.71	-	-	
			30	全長	0.0	無	1524	1.02	0.73	-	-	
			30				1659	1.11	0.81	-	-	
			30				1634	1.09	0.79	-	-	
CASE-4 : 補剛材欠損 (片 側)	12	BP	60	全幅	0.0	無	1625	1.09	0.79	-	-	既往の論文と概ね一致する (±5%以内)
			100				1624	1.09	0.79	-	-	
			200				1747	1.17	0.83	-	-	
			30				1427	0.95	0.74	1360	1.05	
	19	LB	30	全幅	0.0	有	1376	0.92	0.73	1360	1.01	既往の論文と概ね一致する (±5%以内)
			30				1781	1.19	0.86	-	-	

最大荷重一覧表 (2/2)

	フランジ厚 tf (mm)	支承 タイプ	欠損高 h (mm)	欠損幅 B (mm)	欠損部 残厚 (mm)	スカラップ の有無	最大荷重 P (kN)	設計 耐力比	ベースプレート 耐力比	既往の論文との比較		コメント
										論文値	比率	
設計耐力	-	-	-	-	-	無	1495	1.00	-	-	-	
CASE-5 : 補剛材欠損 (両 側)	12	BP	30	全幅	0.0	無	1111	0.74	0.54	-	-	
			60				1022	0.68	0.50	-	-	設計耐力を大幅に下回る
			100				1022	0.68	0.50	-	-	
			200				981	0.66	0.48	-	-	
			30	全幅	7.0	無	1682	1.13	0.82	-	-	設計耐力に対し13%の余裕
CASE-6 : ウェブ・補剛材十字欠損	19	BP	30	全幅	0.0	無	1221	0.82	0.58	-	-	
	22	BP	30	全幅	0.0	無	1266	0.85	0.61	-	-	
	12	BP	30	一律50mm	tw, tv=0	無	1746	1.17	0.85	-	-	欠損幅、欠損板厚が大きくなるにつれ、耐力が低下する
					tw=0, tv=5		1864	1.25	0.91	-	-	
					tw, tv=5		1948	1.30	0.95	-	-	
					tw, tv=0		1212	0.81	0.59	-	-	
				一律100mm	tw=0, tv=5	無	1453	0.97	0.71	-	-	
					tw, tv=5		1633	1.09	0.79	-	-	
					ウェブ・SOLE, 補剛材-全幅		499	0.33	0.24	-	-	
					tw=0, tv=5		794	0.53	0.39	-	-	
					tw, tv=5		1082	0.72	0.53	-	-	
CASE-7 : ウェブ(支間側)・補剛材L字欠損	12	BP	30	一律 50mm	tw, tv=0	無	1976	1.32	0.96	-	-	
				一律100mm	tw, tv=0		1711	1.14	0.83	-	-	
				SOLE, 全幅	tw, tv=0		1355	0.91	0.66	-	-	
				SOLE+50, 全幅	tw, tv=0		1150	0.77	0.56	-	-	
CASE-7' : ウェブ(桁端側)・補剛材L字欠損	12	BP	30	SOLE, 全幅	tw, tv=0	無	1319	0.88	0.64	-	-	
				全幅	tw, tv=0		1077	0.72	0.52	-	-	

(1) 欠損モデル別の耐力比較

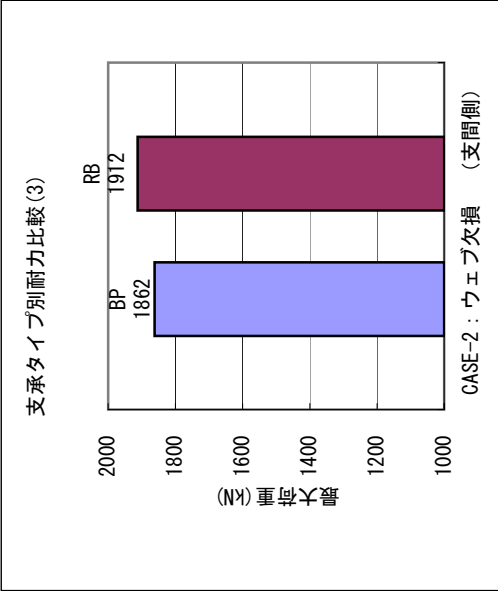
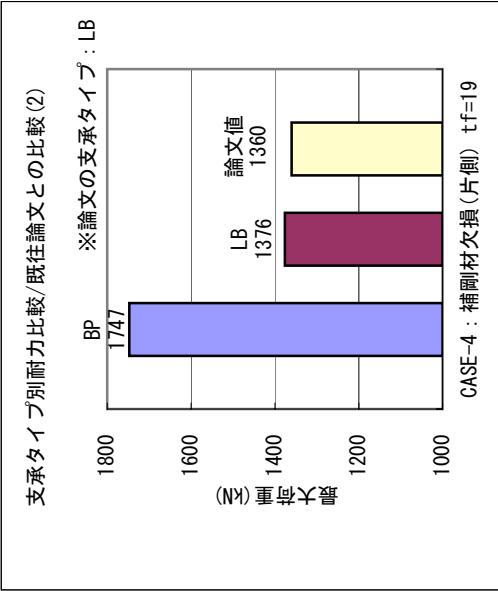
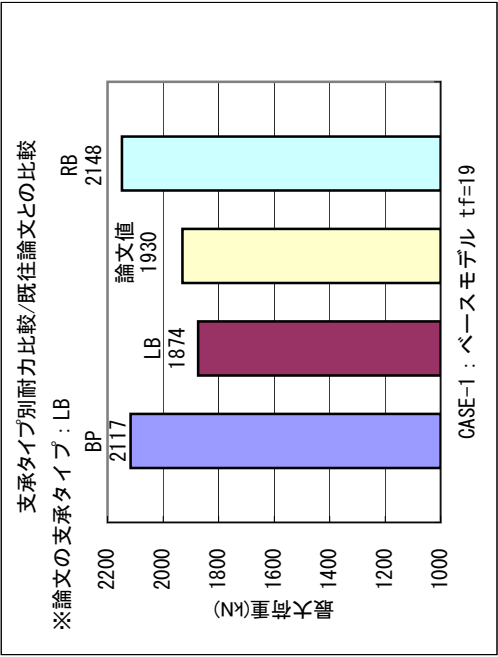


・最大荷重の高い順に並べるとCASE-1, 2, 4, 3, 7, 5, 8, 6となる

・CASE-3のウェブ欠損 (桁端側) とCASE-5の補剛材欠損 (両側) は欠損幅が大きいと設計耐力を下回る

・ウェブと補剛材欠損を組み合わせたCASE-6, 7, 8についても、欠損幅が大きいと設計耐力を大幅に下回る

(2) 支承タイプ別の耐力比較/既往論文との比較

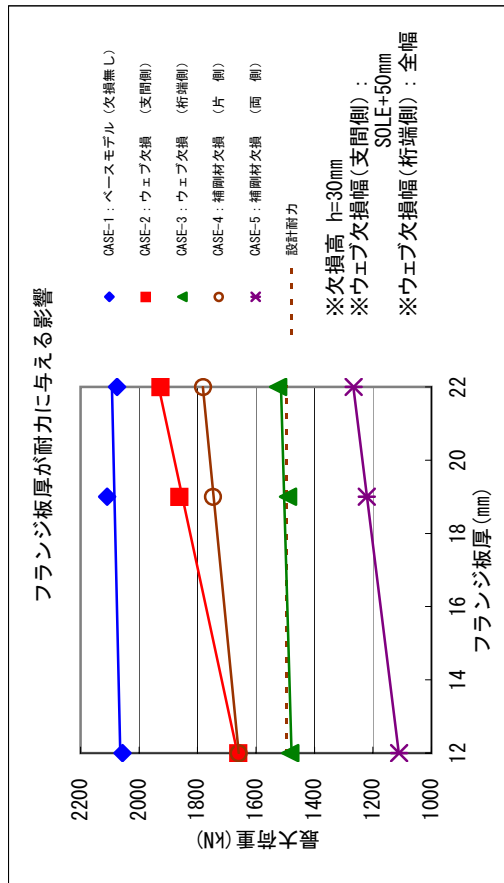


・線支承はBP支承またはゴム支承に対し、最大荷重が低くなる (受圧面積の影響を受ける)

・ゴム支承とBP支承の最大荷重に大きな差異はない

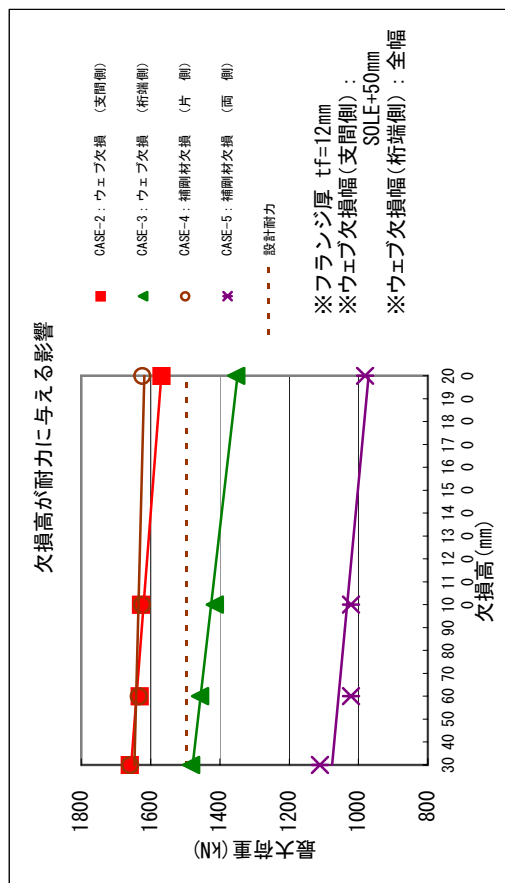
・線支承モデルで解析した場合の最大耐力は既往の論文 (同様の支点支持条件) とほぼ一致する

(3) フランジ板厚が耐力に与える影響



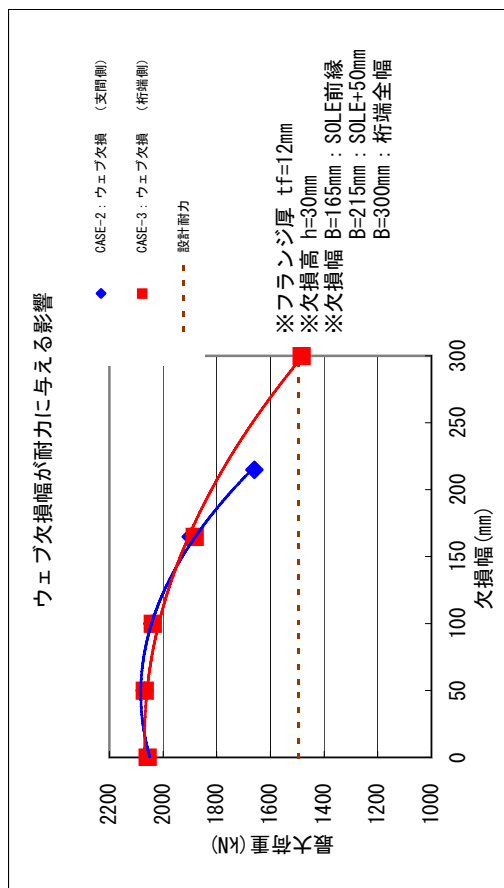
- ・ベースモデルはせん断座屈が支配的なためフランジ厚の影響を受けない
- ・CASE-2のウェブ欠損 (支間側) とCASE-4, 5の補剛材欠損においては、フランジ厚が厚くなるにつれ最大荷重が直線的に増加する

(5) 欠損高が耐力に与える影響



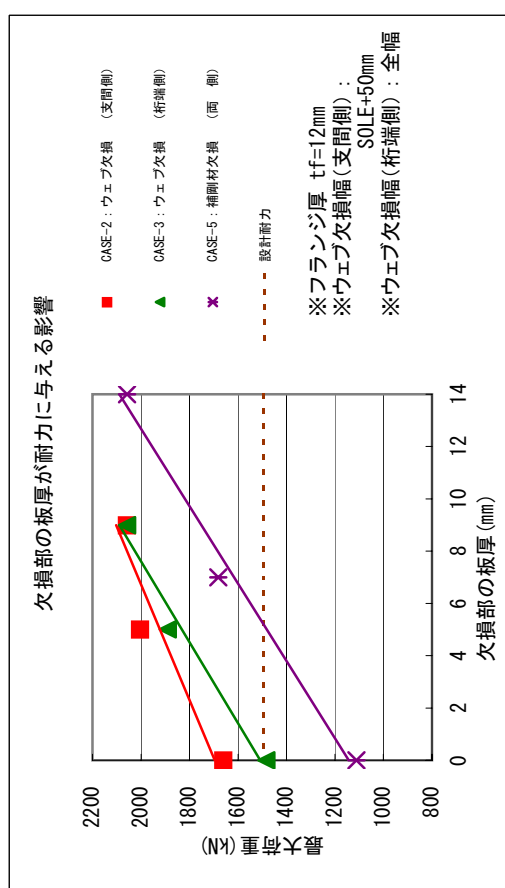
- ・CASE-2のウェブ欠損 (支間側) およびCASE-4の補剛材欠損 (片側) では欠損高の増大による耐力の低下は微小
- ・CASE-3のウェブ欠損 (桁端側) およびCASE-5の補剛材欠損 (両側) では耐力が緩やかに低下する

(4) ウェブ欠損幅が耐力に与える影響



- ・欠損幅がソールプレート幅より大きくなると耐力が急激に低下する
- ・欠損幅が50mm, 100mmの場合はベースモデルと耐力に差異がない

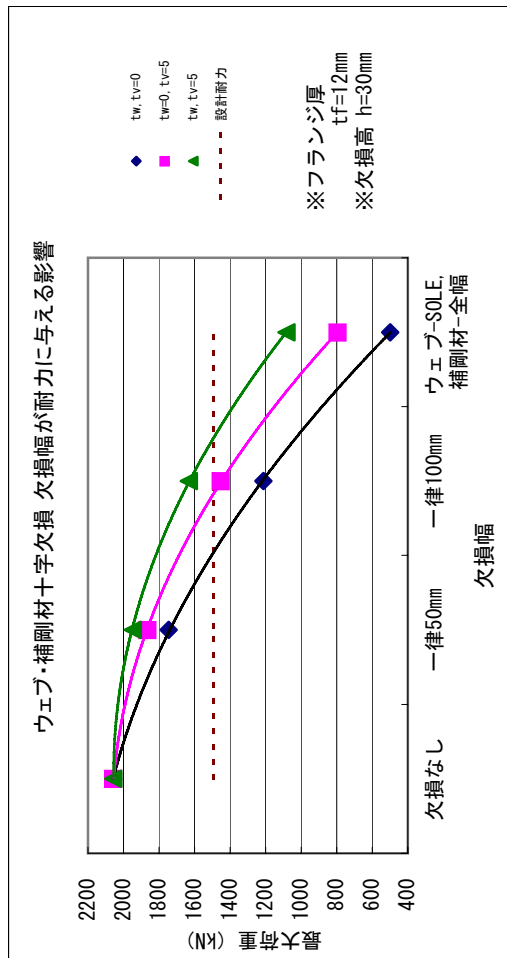
(6) 欠損部の板厚が耐力に与える影響



- ・欠損部の板厚が減少するにつれ、最大荷重は直線的に減少する
- ・CASE-5の補剛材欠損 (両側) において、板厚が50%残存していれば設計耐力を下回らない

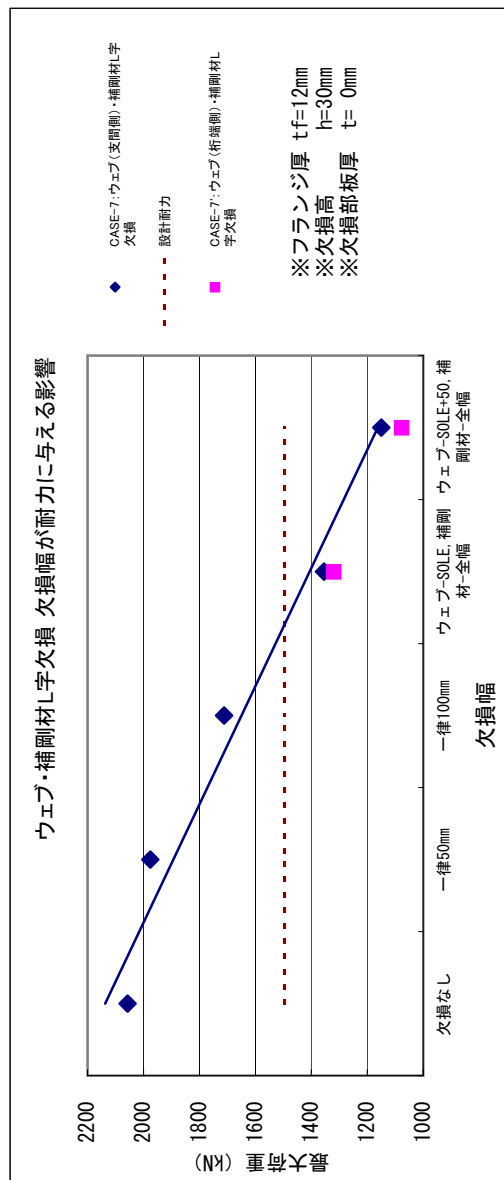
(7) ウェブ・補剛材十字欠損における耐力

欠損幅が耐力に与える影響

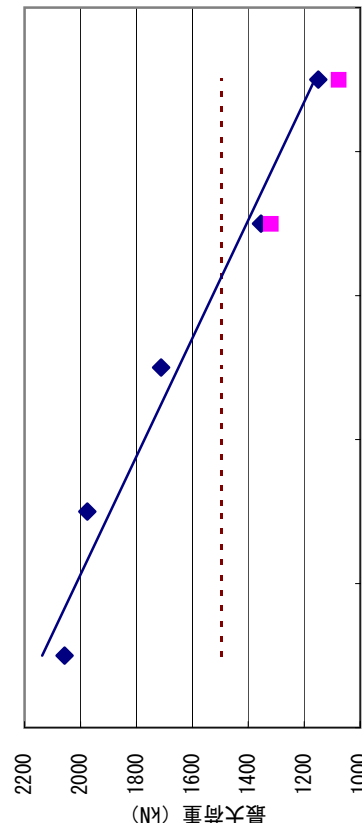


- ・欠損幅が増加するにつれ、最大荷重は減少する（2次放物線）
- ・欠損幅がウェブ・補剛材一律に100mm以上となると設計耐力を下回る

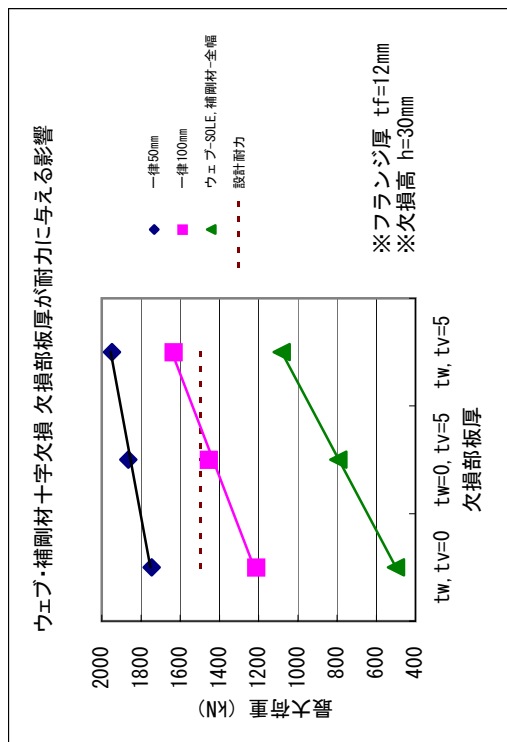
(8) ウェブ・補剛材L字欠損における耐力



ウェブ・補剛材L字欠損 欠損幅が耐力に与える影響



欠損部の板厚が耐力に与える影響



- ・全幅欠損（ウェブはソールプレート幅）した場合はウェブ欠損部の残存板厚によらず設計耐力を下回る
- ・欠損幅が50mmの場合はウェブ欠損部の残存板厚によらず設計耐力を上回る
- ・欠損幅が100mmの場合はウェブ欠損部の残存板厚が0mmとなると設計耐力を下回る（残存板厚がパラメータとなる）

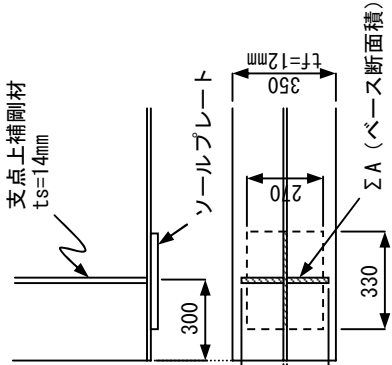
- ・欠損幅が増加するにつれ、最大荷重は直線的に減少する
- ・欠損幅が100mmを超え、全幅欠損（ウェブはソールプレート幅）する間に設計耐力を下回る

(9) 欠損断面積をパラメータとした最大荷重分布

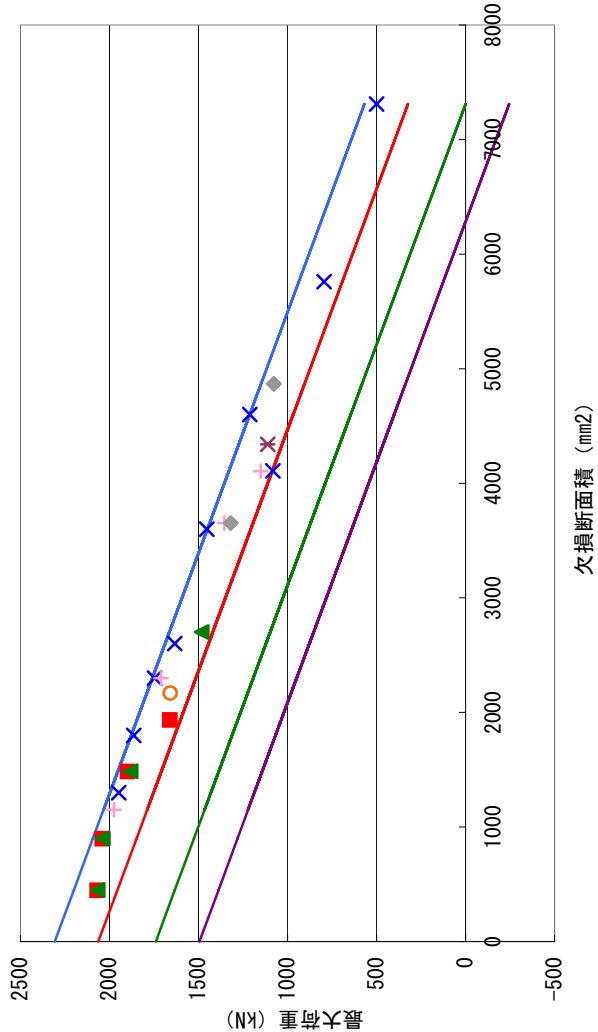
欠損部 断面積 (-ΔA)	計算耐力				最大荷重 P (解析値)						
	ウェブ有効幅 Pd		フランジ せん断耐力付加 (Pd + ΔSf)		CASE-2 ウェブ欠損 (支間側)	CASE-3 ウェブ欠損 (桁端側)	CASE-4 補剛材欠損 (片 側)	CASE-5 補剛材欠損 (両 側)	CASE-6 ウェブ補剛 材十字欠損	CASE-7 ウェブ(支間 側)・補剛材 十字欠損	CASE-7' ウェブ(桁端 側)・補剛材 十字欠損
	WEB-24t kN	WEB-SOLE kN	WEB-24t kN	WEB-SOLE kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
健全	1495	1740	2063	2307							
450	1388	1633	1955	2200	2069	2067					
900	1281	1526	1848	2093	2040	2038					
1150	1222	1466	1789	2033						1976	
1300	1186	1430	1753	1997					1948		
1485	1142	1386	1709	1953	1897	1881					
1800	1067	1311	1634	1878					1864		
1935	1035	1279	1602	1846	1660						
2170	979	1223	1546	1790			1659				
2300	948	1192	1515	1759					1746	1711	
2600	877	1121	1444	1688					1633		
2700	853	1097	1420	1664		1483					
3600	639	883	1206	1450					1453		1319
3655	626	870	1193	1437						1355	
4105	519	763	1086	1330						1150	
4110	517	762	1084	1329							
4340	463	707	1030	1274				1111	1082		
4600	401	645	968	1212					1212		
4870	337	581	904	1148							1077
5760	125	369	692	936					794		
7310	-244	0	323	567					499		

【補足】計算耐力の算出について

- ・有効断面積 $\Sigma A = A_g - \Delta A$
- ・ベース断面積 $A_g = A_{stiff} + A_{web}$
- ここに A_{stiff} : 支点上補剛材断面積 $2 \times 155 \times 14 = 4340$
 A_{web} : 主桁ウェブ断面積
ウェブ有効幅 $24 \times tw$ の場合 $A_{web} = 24 \times 9 \times 9 = 1944$
ウェブ有効幅 ソールプレートの場合 $A_{web} = 330 \times 9 = 2970$
- 欠損断面積 $-\Delta A = (\text{補剛材または主桁ウェブの}) \text{欠損幅} \times \text{欠損厚}$
- ・計算耐力の算出
柱部材 (支点上補剛材・主桁ウェブ) $P_d = \Sigma A \times \sigma_y$
主桁フランジせん断耐力 $\Delta S_f = A_f \times \tau_y$
ここに σ_y : 降伏応力 235 N/mm²
 τ_y : 降伏せん断応力 135N/mm²



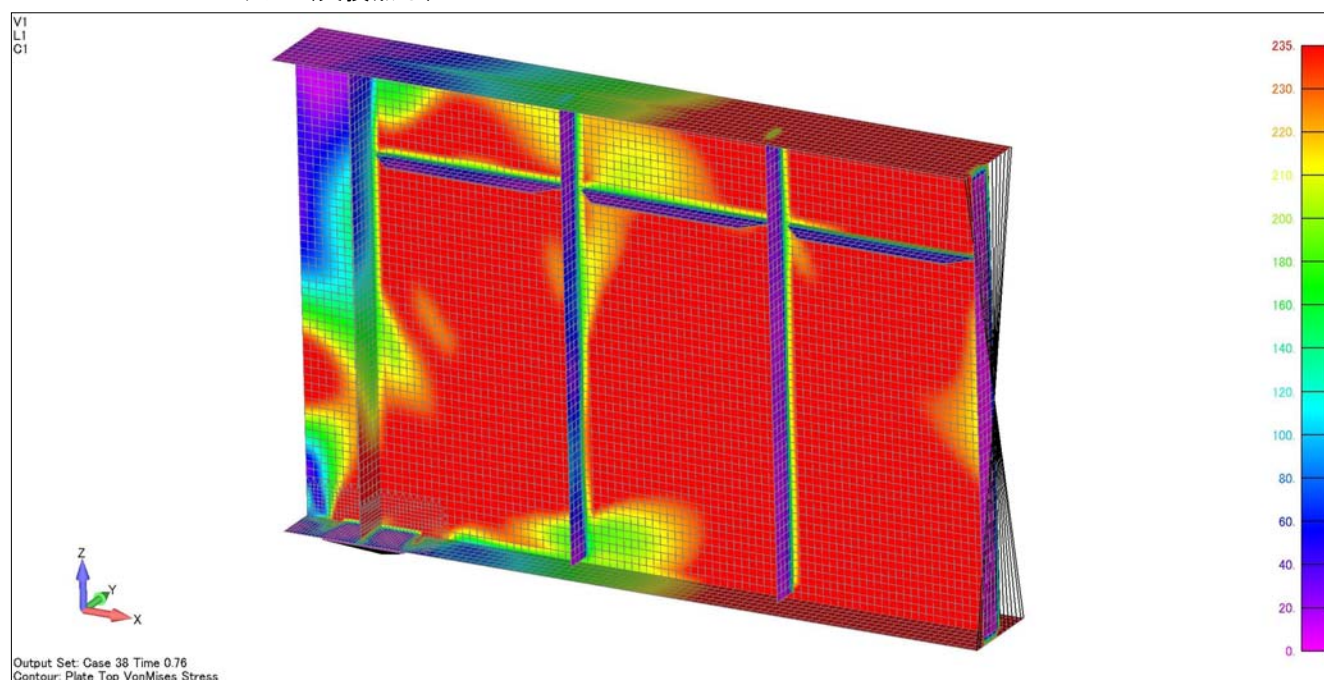
欠損断面積が耐力に与える影響



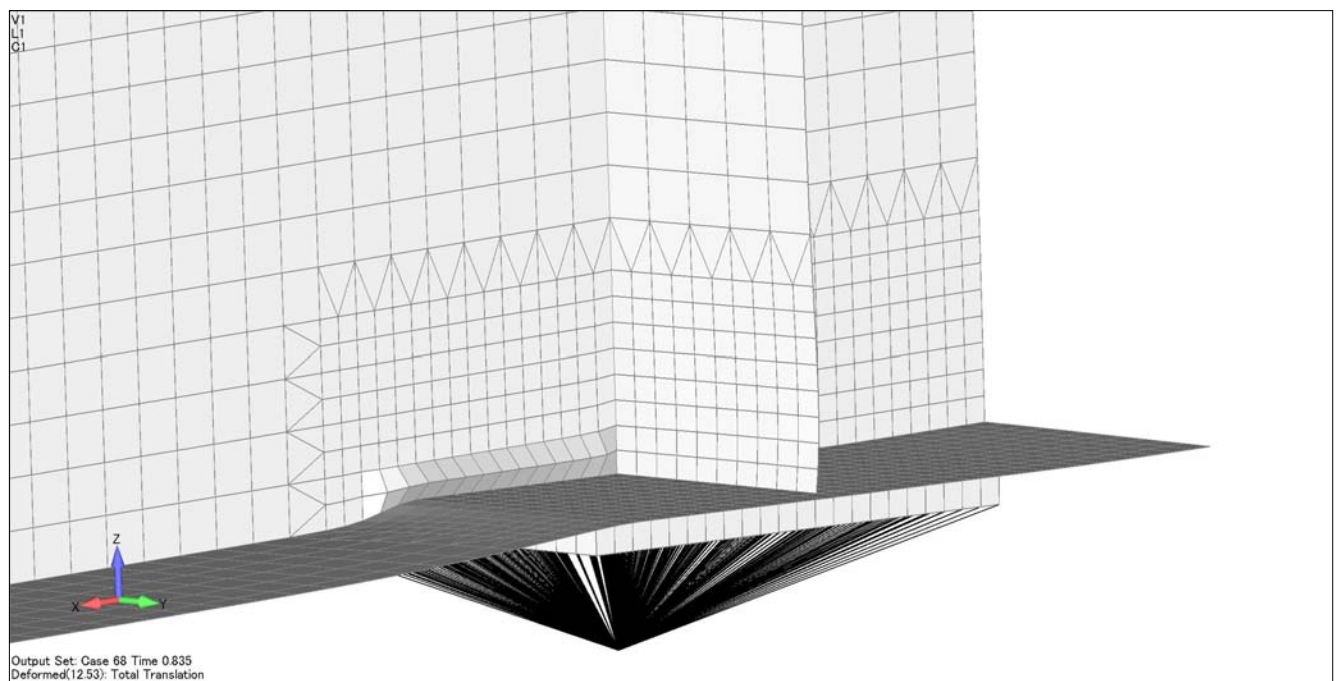
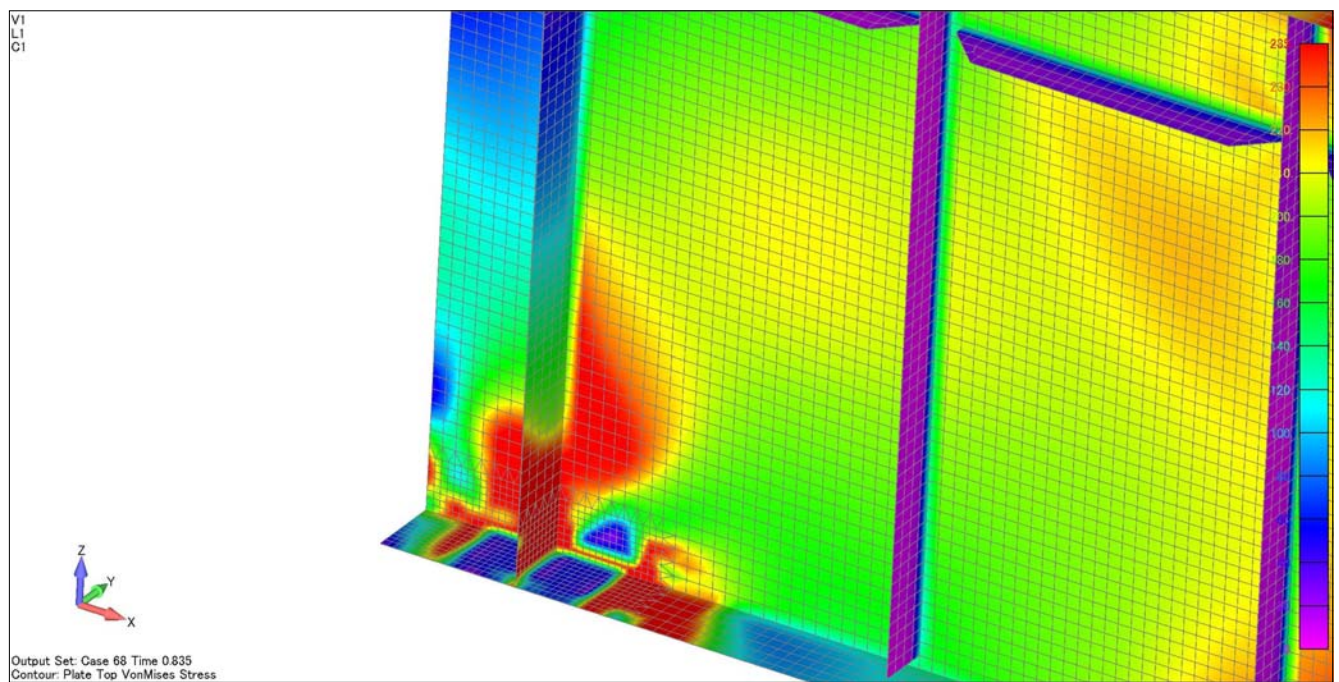
4. 応力コンター図, 変形図

4-1. 欠損モデル別 ※フランジ厚 $t_f=12\text{mm}$, BP支承, 欠損高 $h=30\text{mm}$, 欠損幅は各モデル最大のケース, 欠損部の板厚 0mm の解析結果を添付

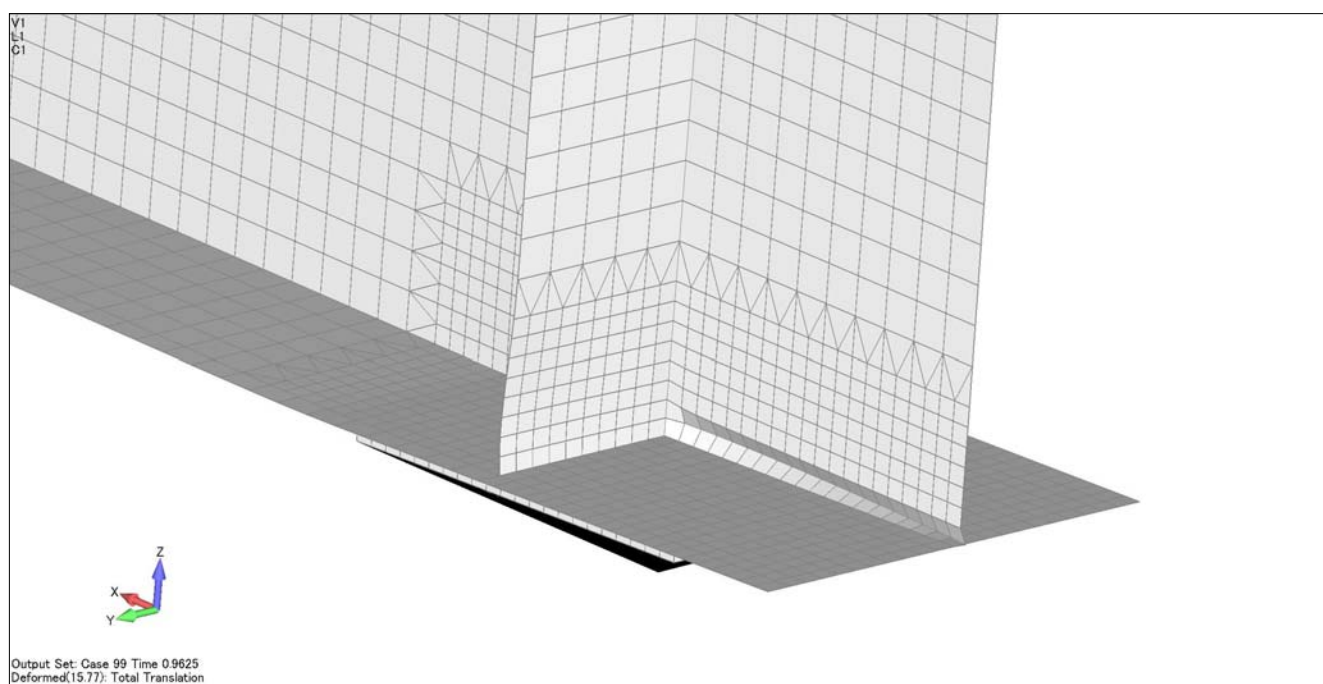
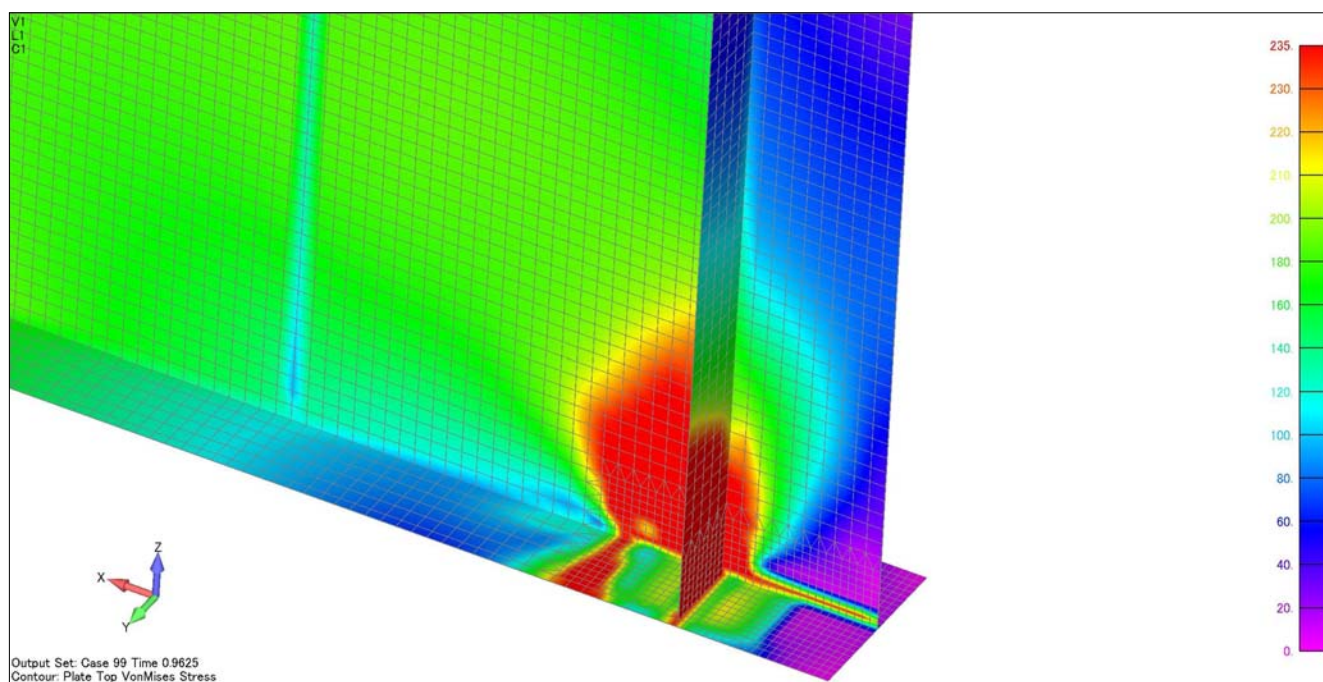
CASE-1 : ベースモデル (欠損無し)



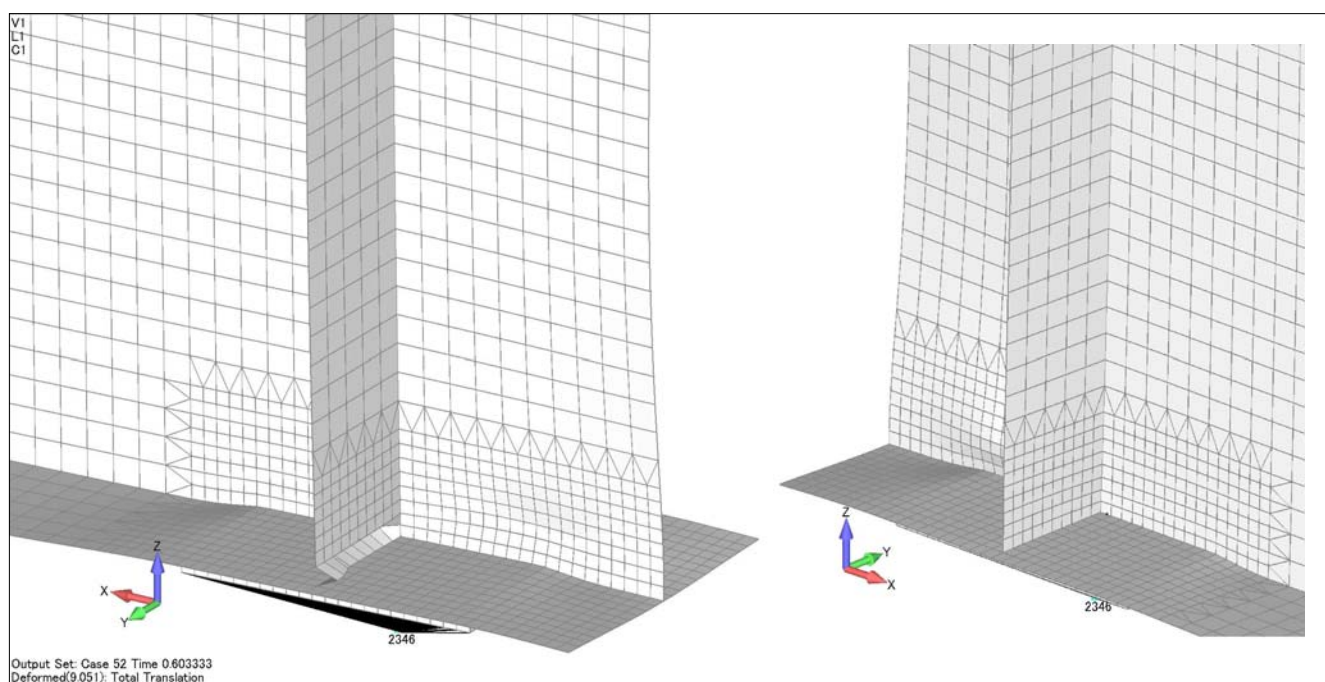
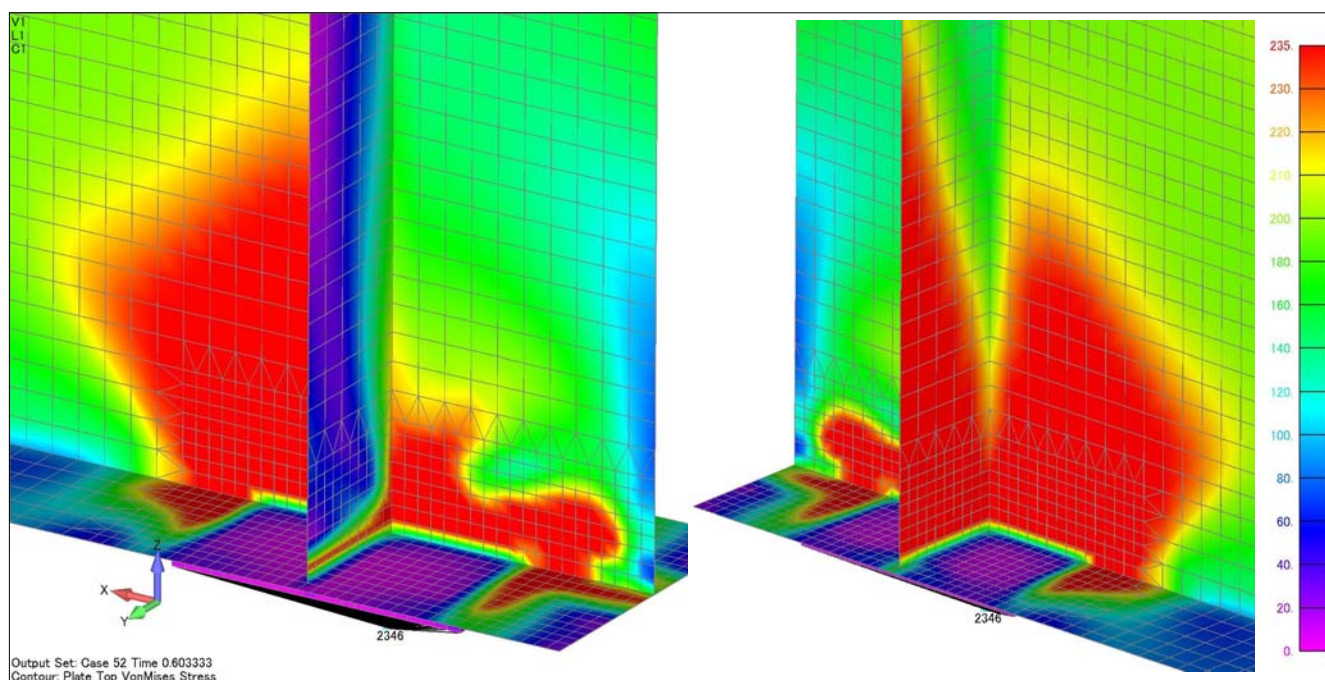
CASE-2 : ウェブ欠損（支間側）



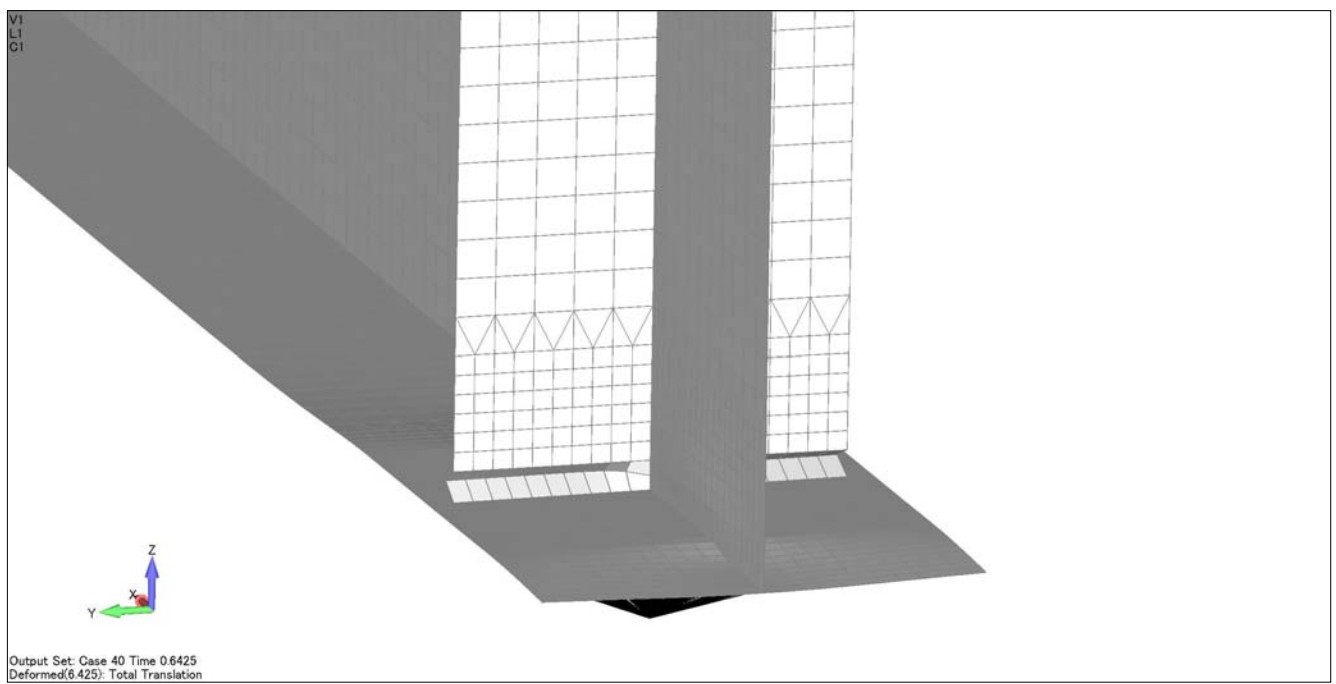
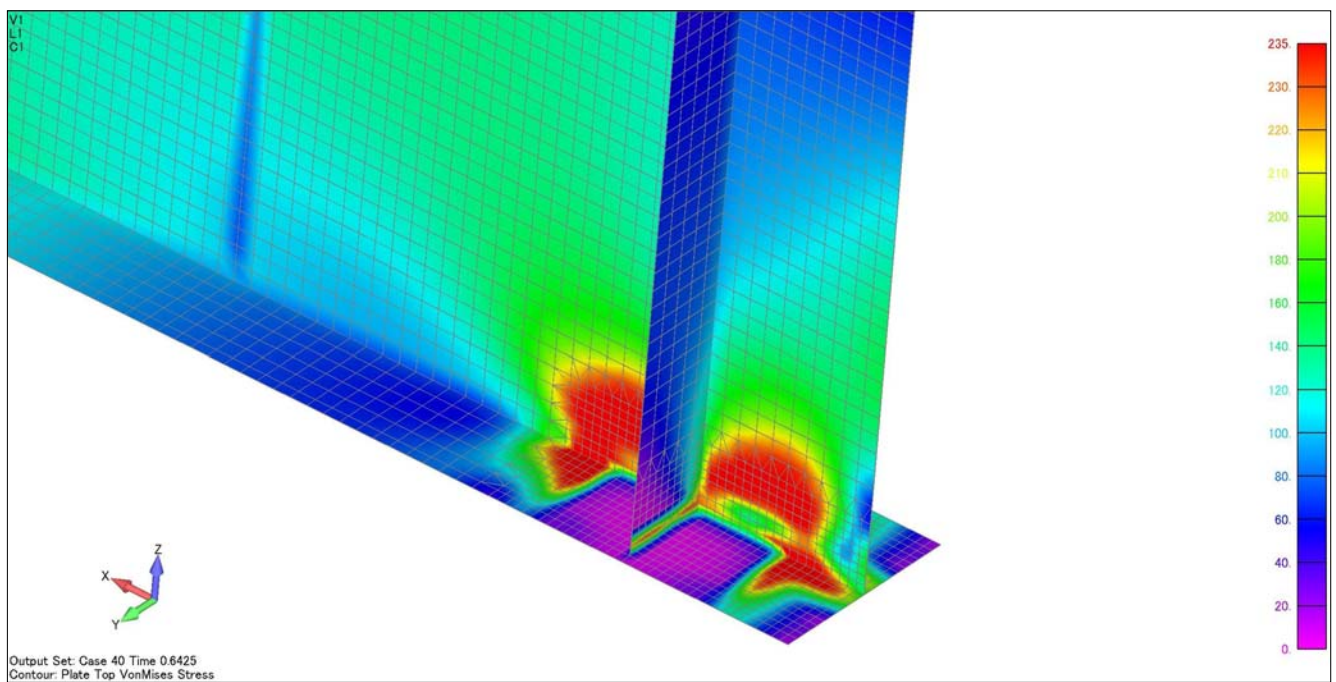
CASE-3 : ウェブ欠損（桁端側）



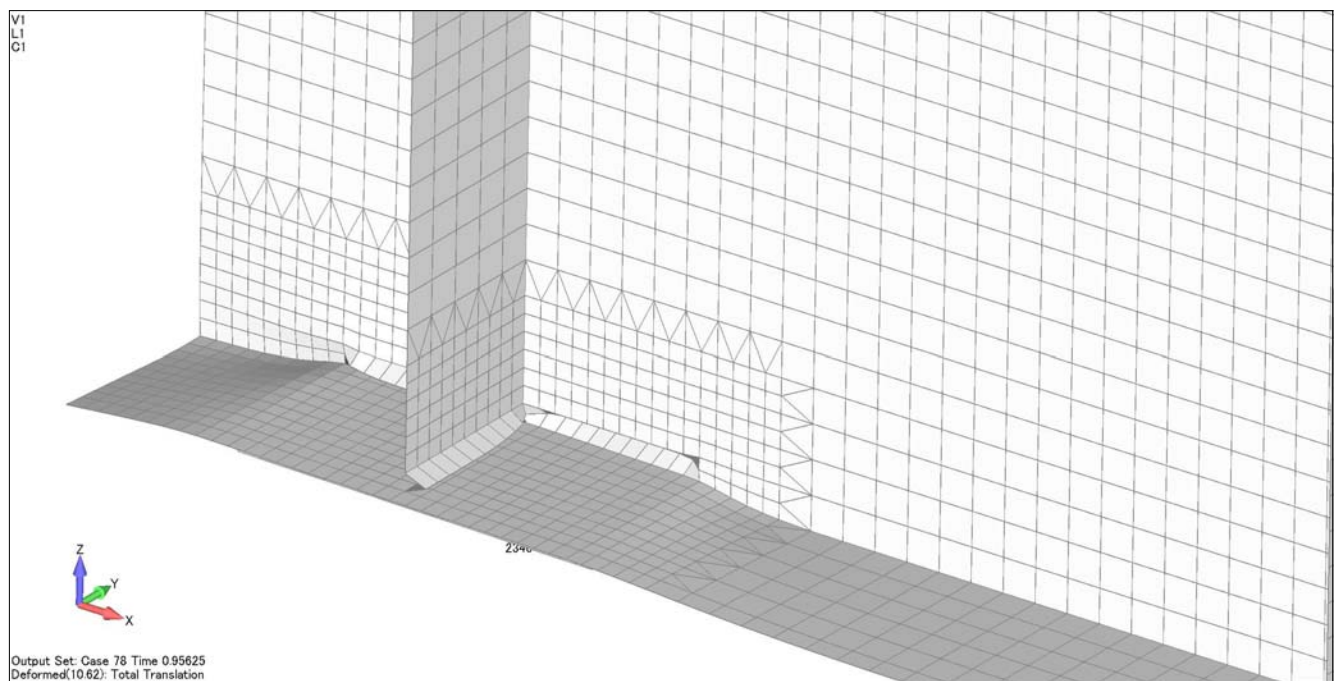
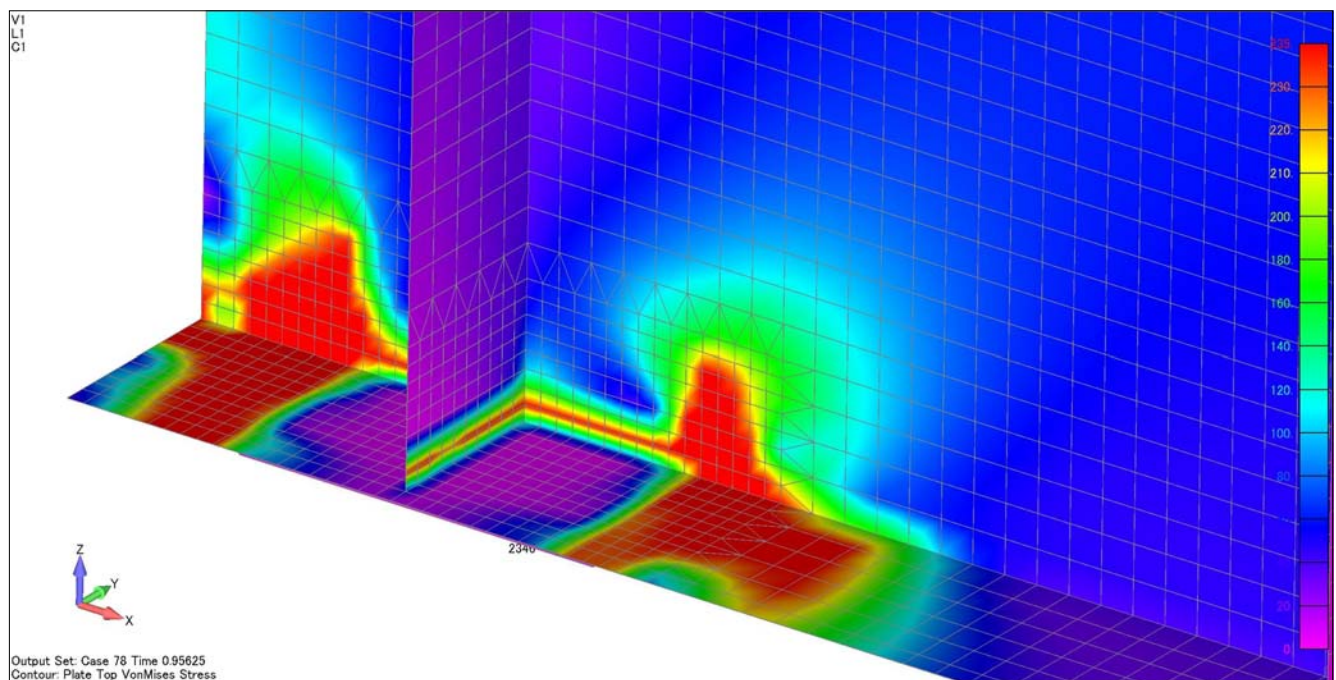
CASE-4 : 補剛材欠損（片側）

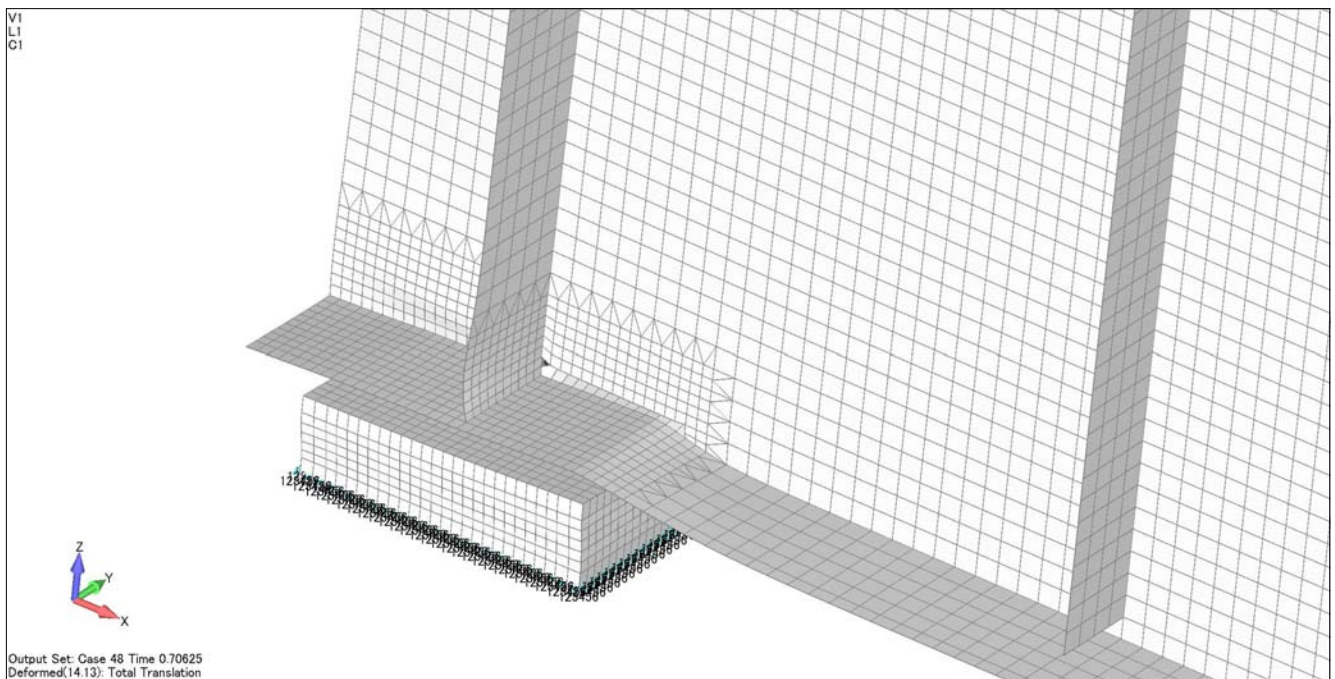
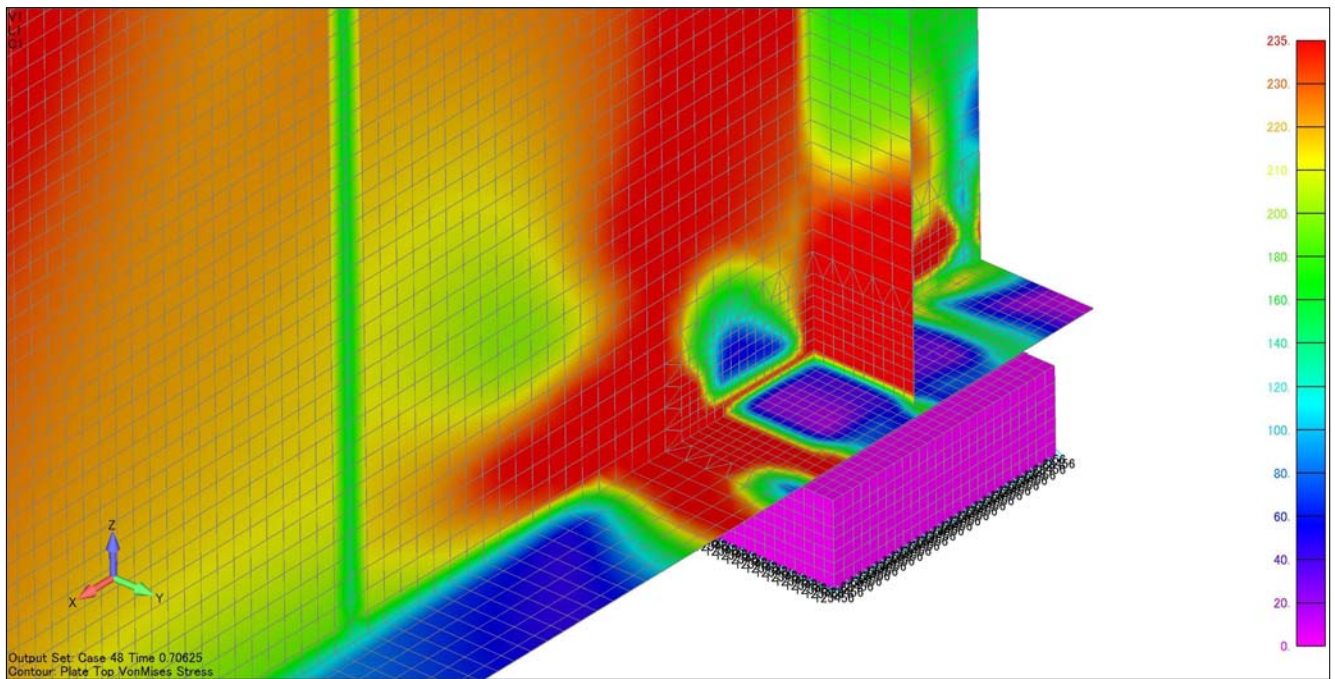


CASE-5：補剛材欠損（両側）

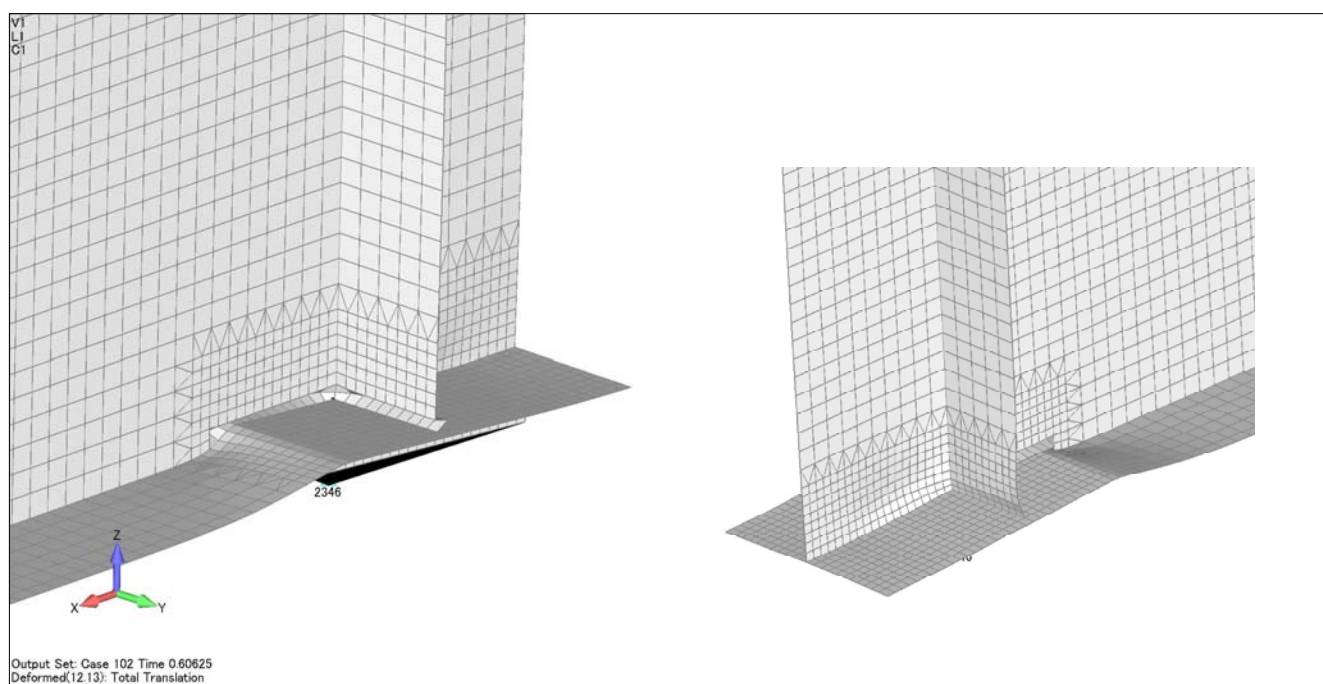
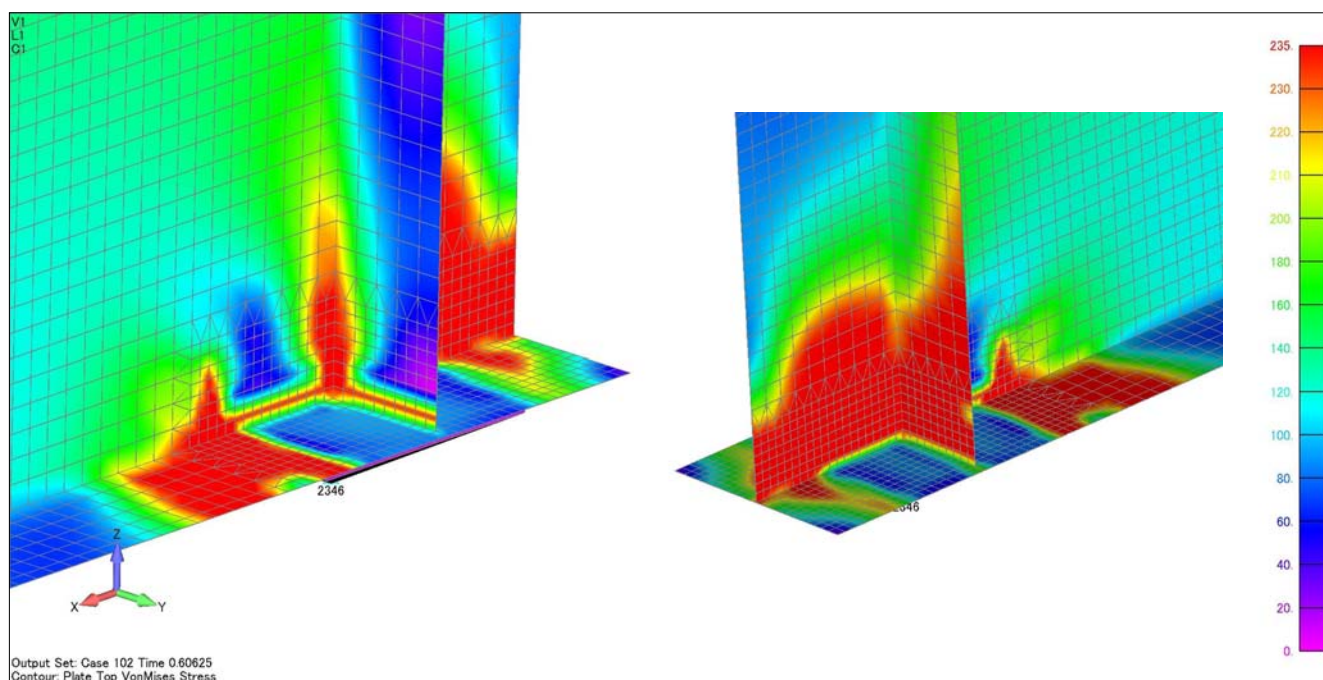


CASE-6 : ウェブ・補剛材十字欠損（欠損全幅，欠損部板厚0mm）





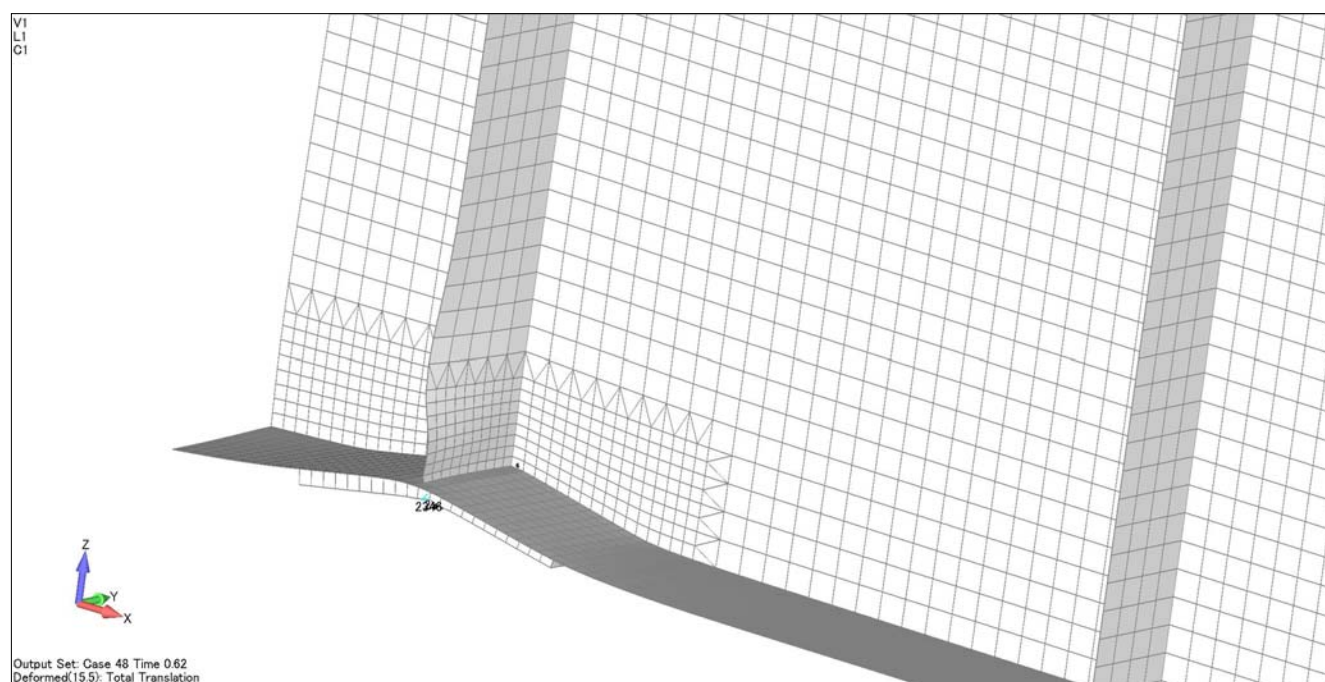
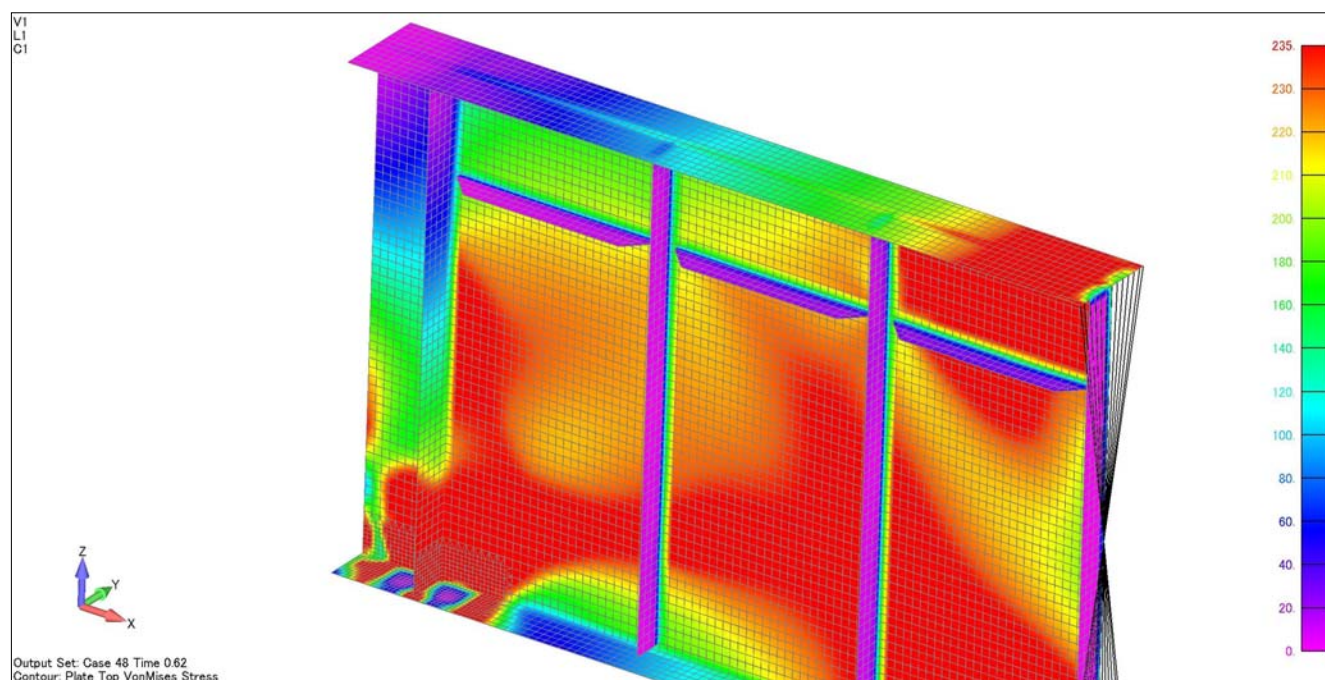
CASE-7 : ウェブ・補剛材L字欠損（欠損全幅，欠損部板厚0mm）



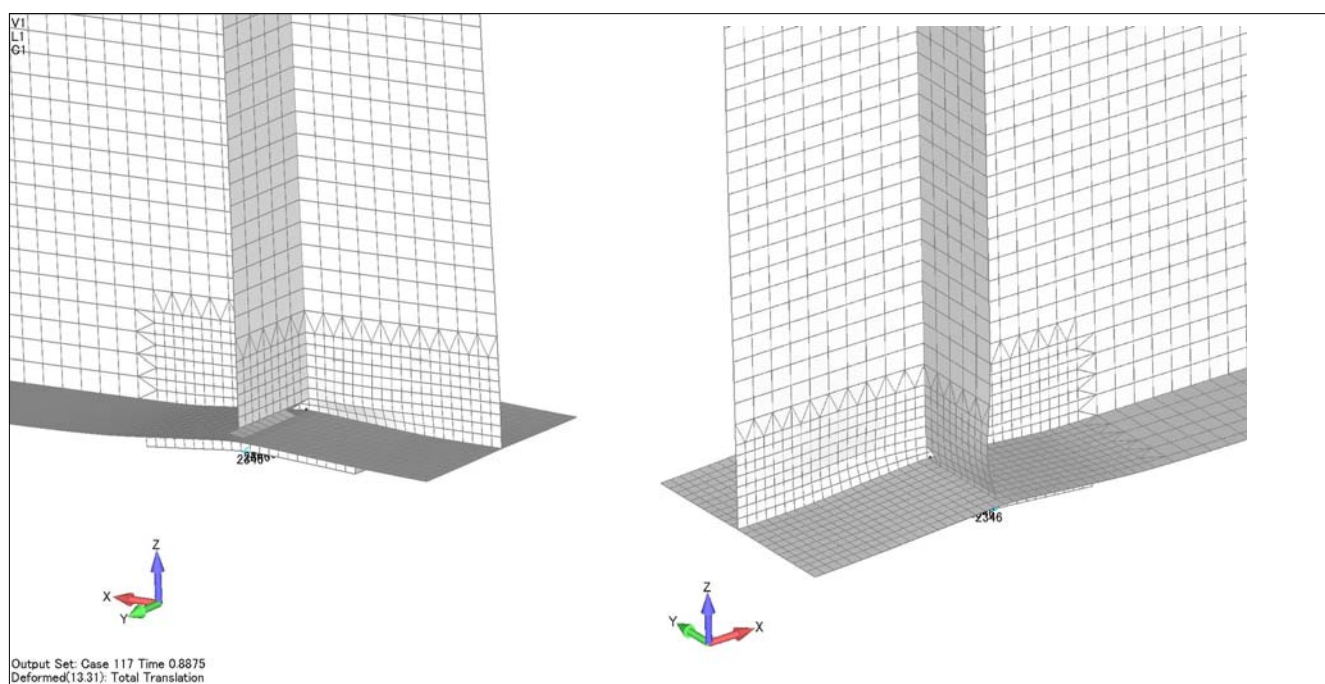
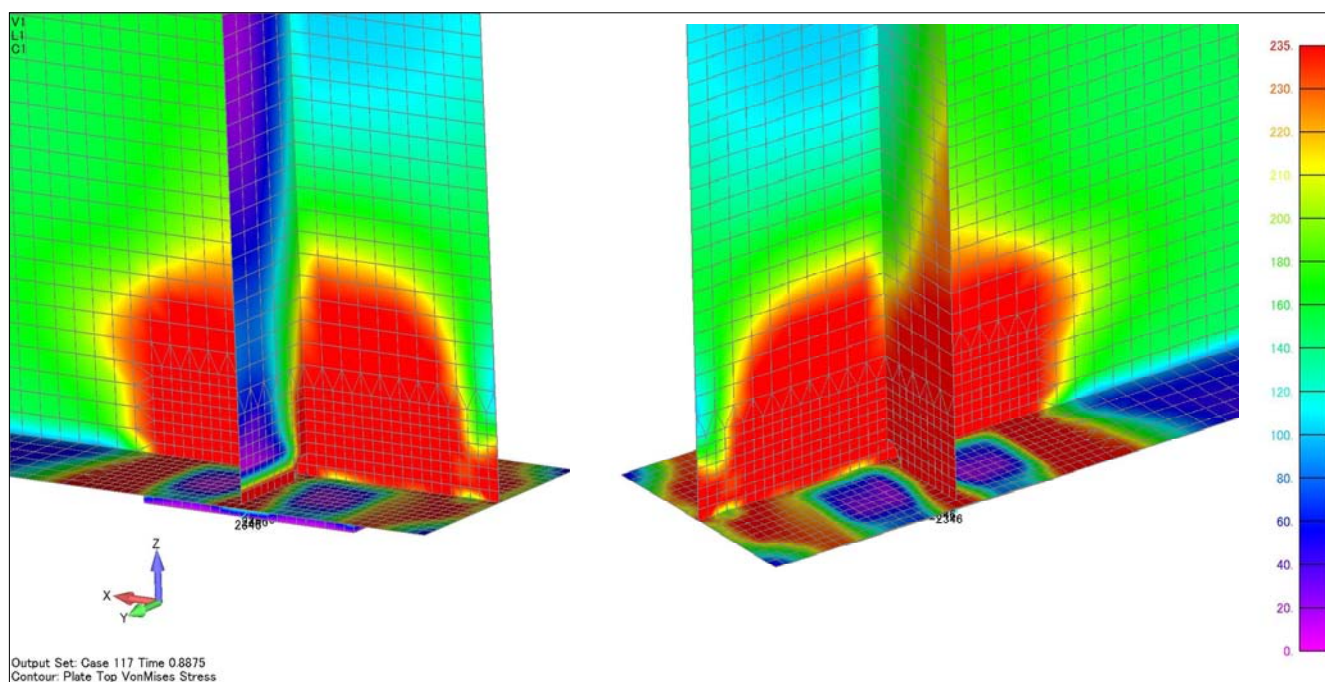
4-2. 支承条件の変更

(1) 線支承

CASE-1 : ベースモデル（欠損無し）

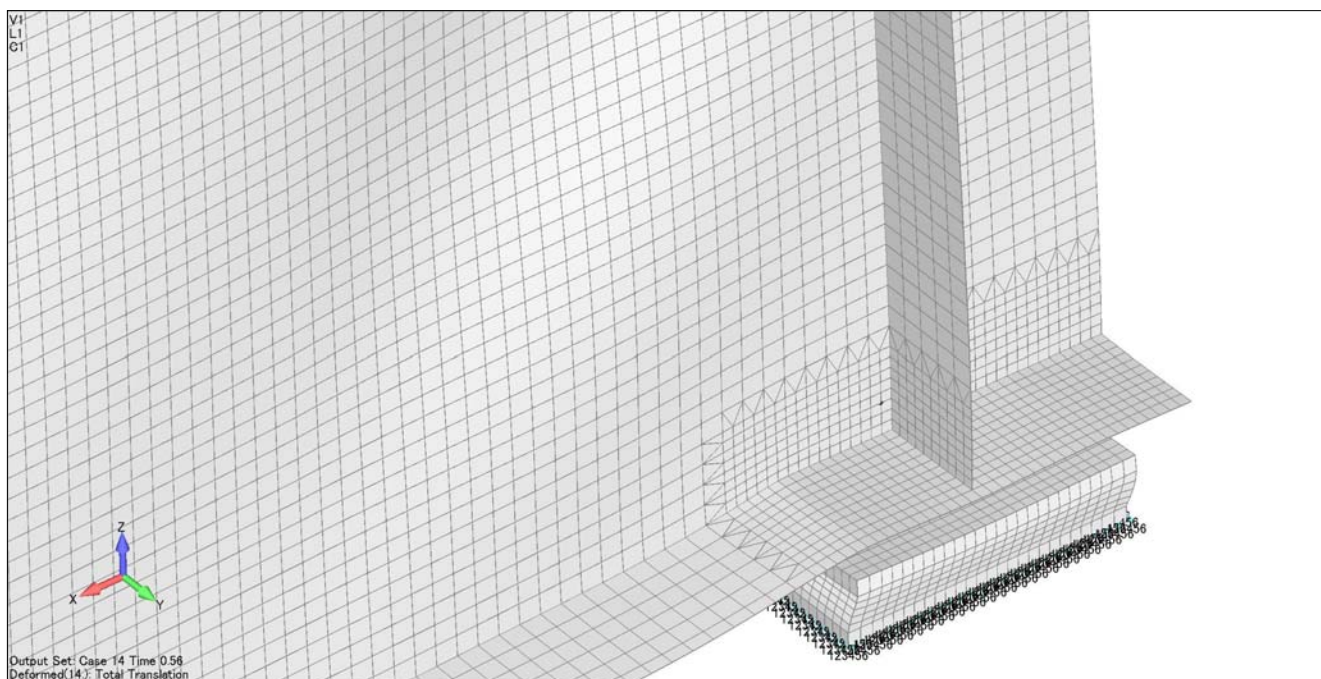
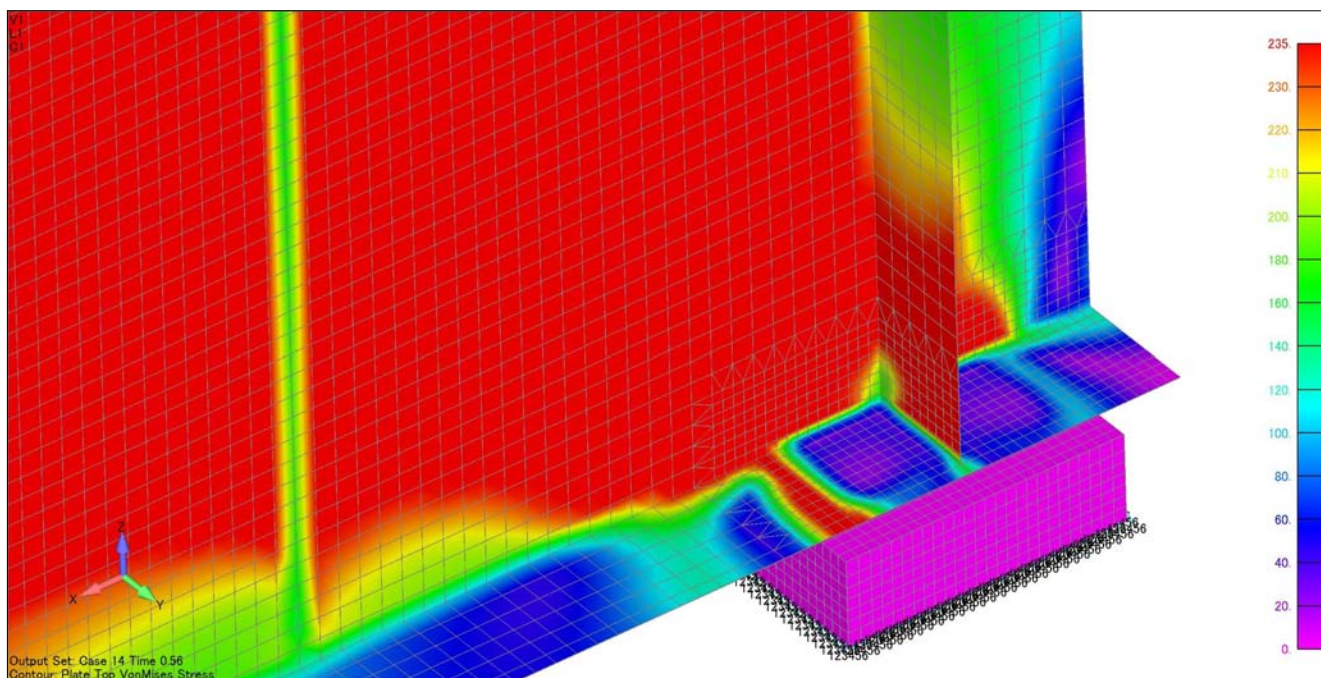


CASE-4：補剛材欠損（片側） ※線支承

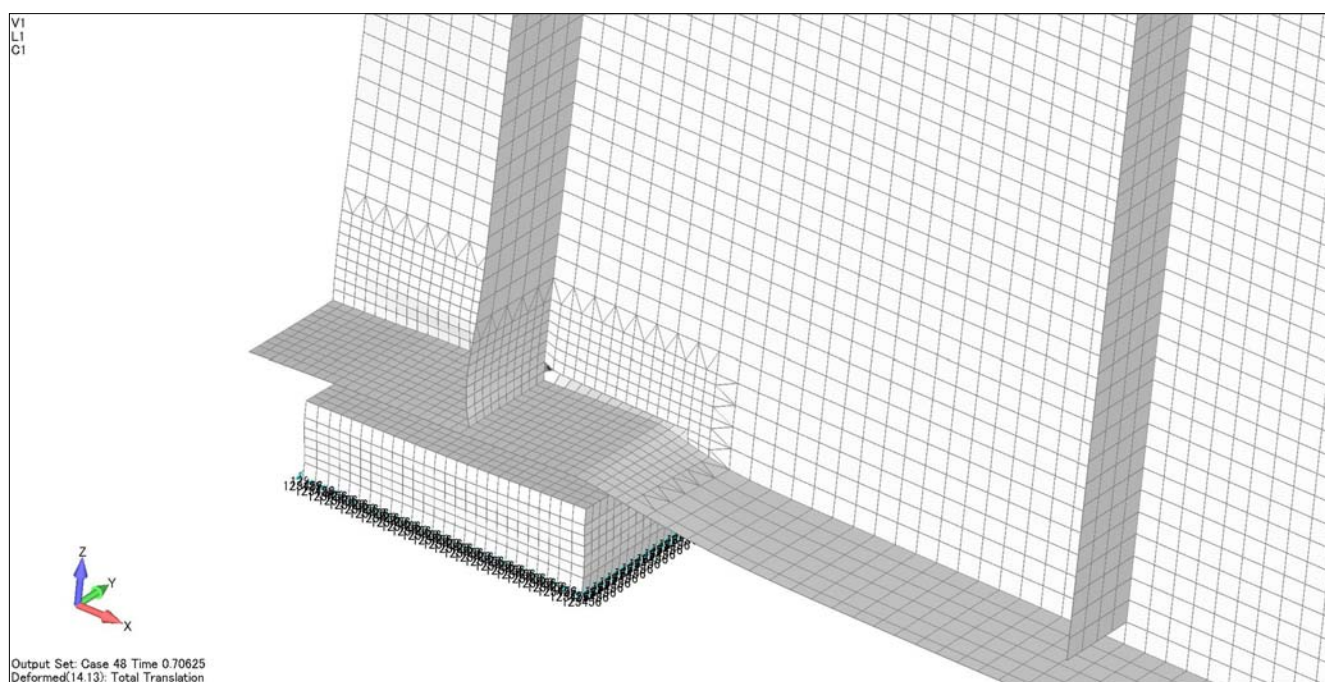
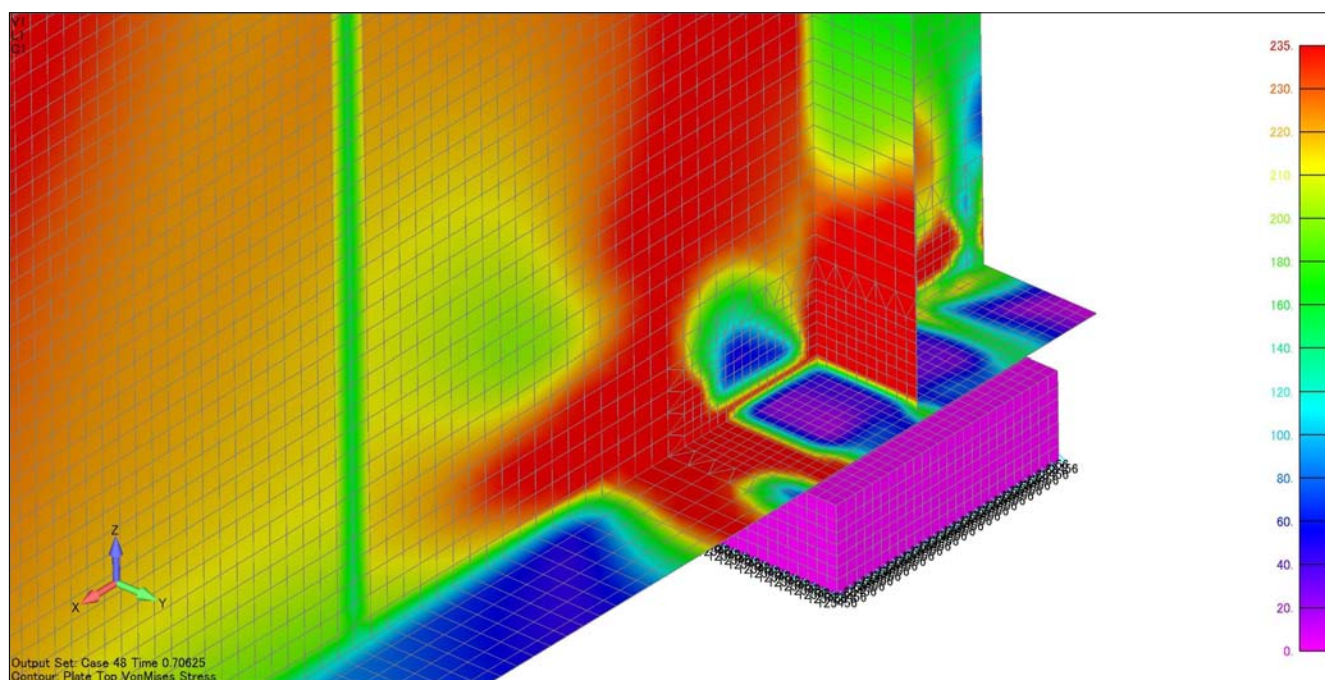


(2) ゴム支承

CASE-1 : ベースモデル (欠損無し)



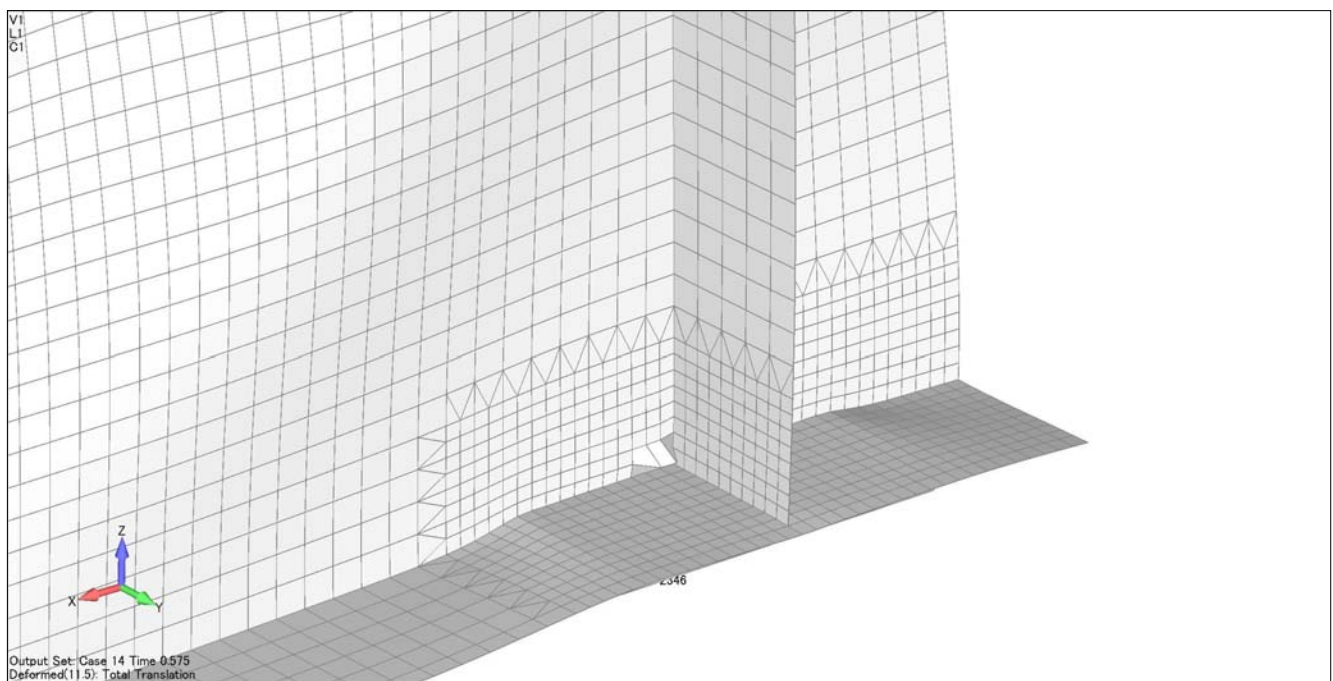
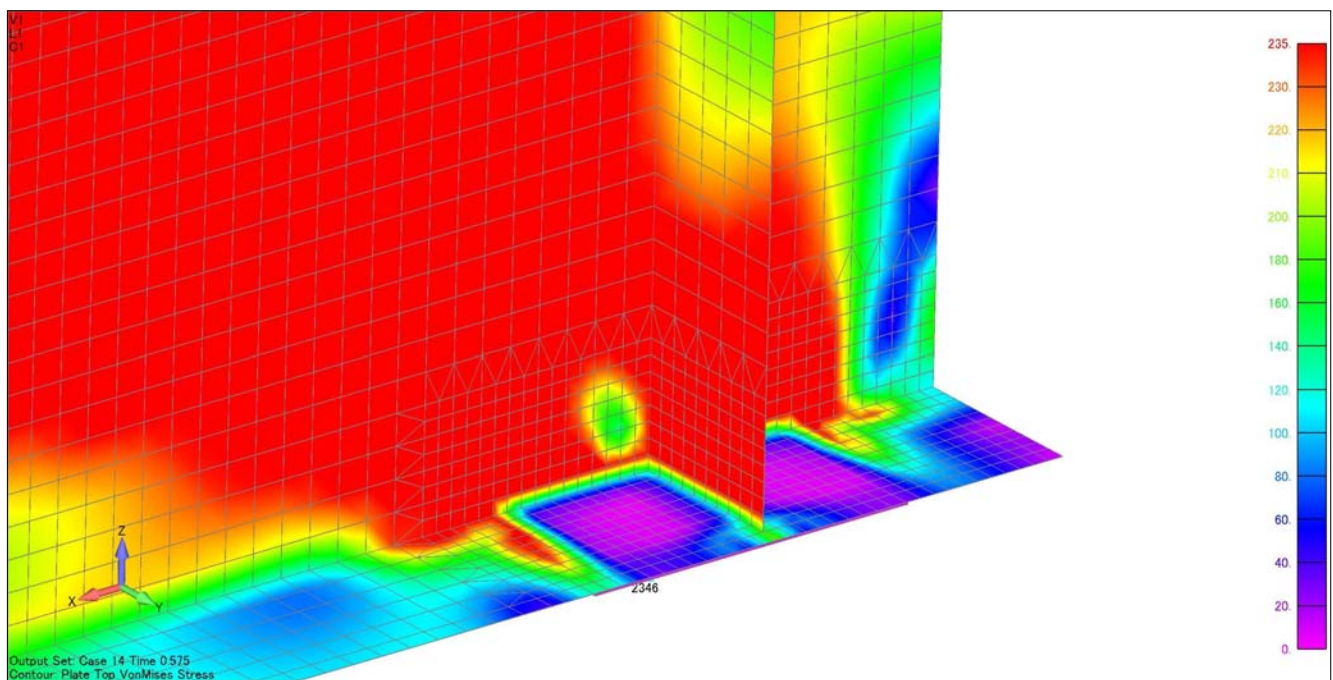
CASE-2 : ウェブ欠損（支間側） ※ゴム支承



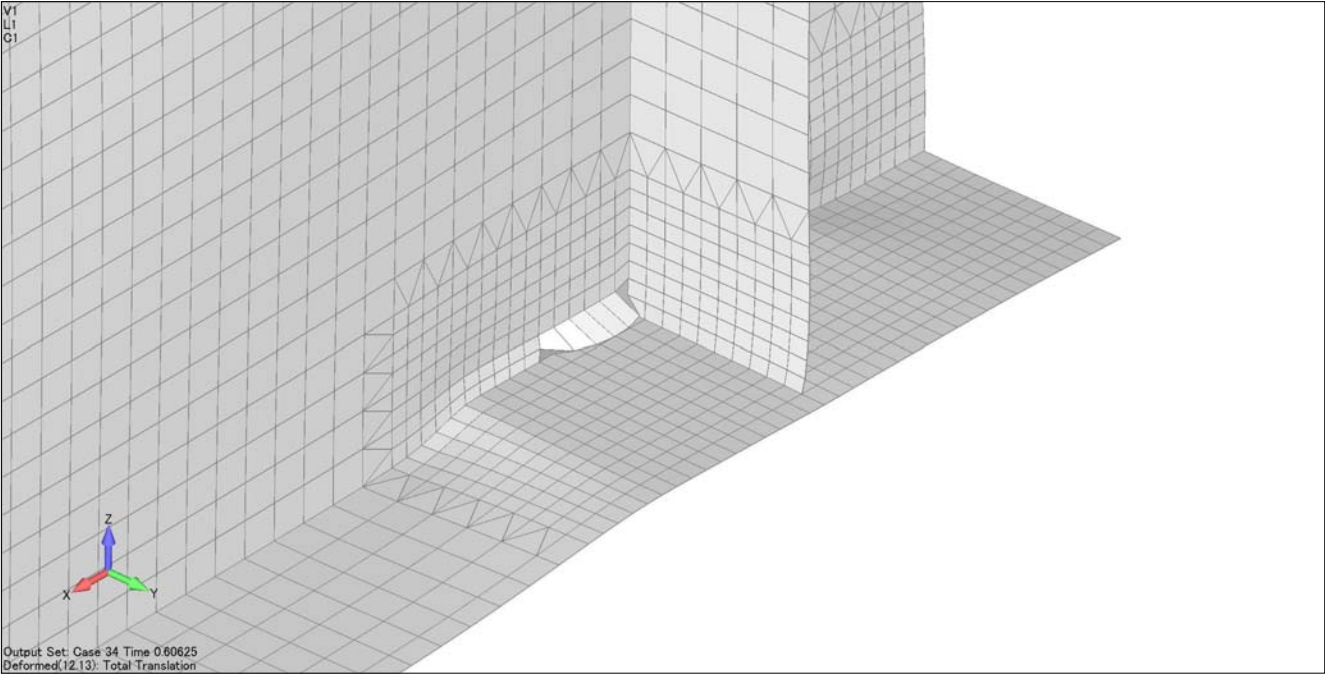
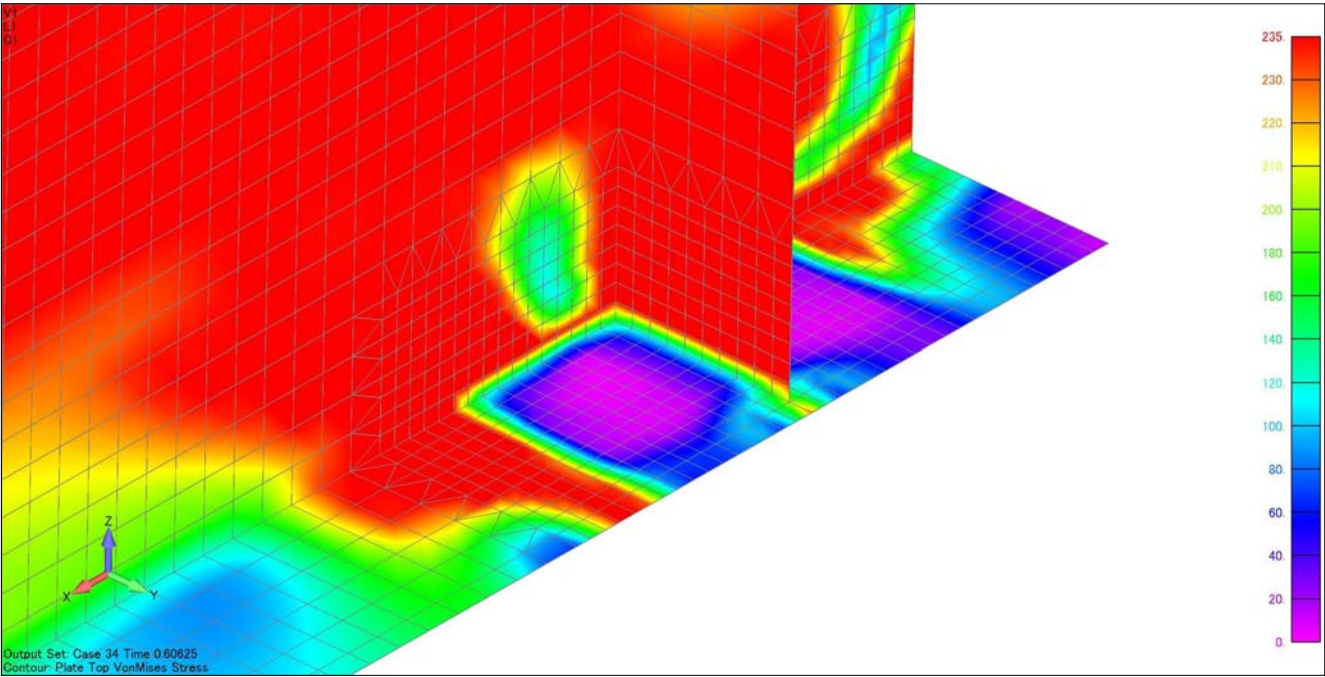
4-3. ウェブ欠損幅のパラメータ解析

(CASE-2の支間側欠損モデル, フランジ厚 $t_f=12\text{mm}$, BP支承, 欠損部の板厚は 0mm)

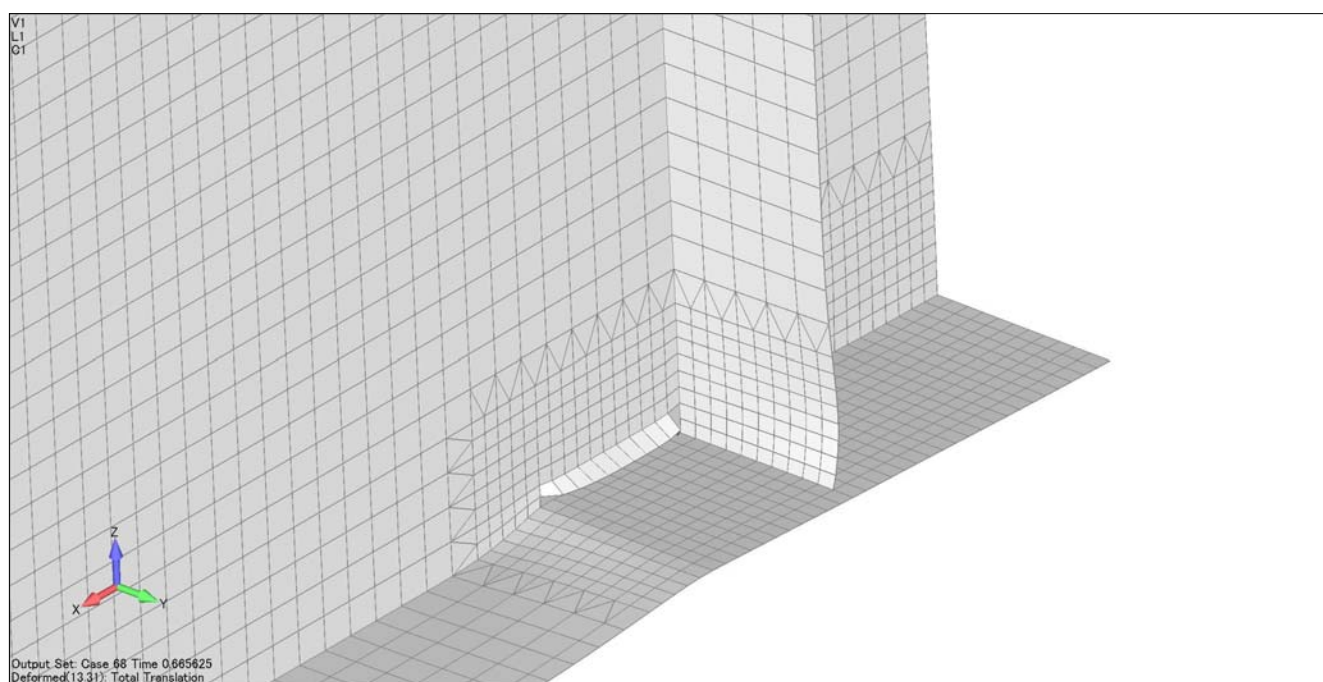
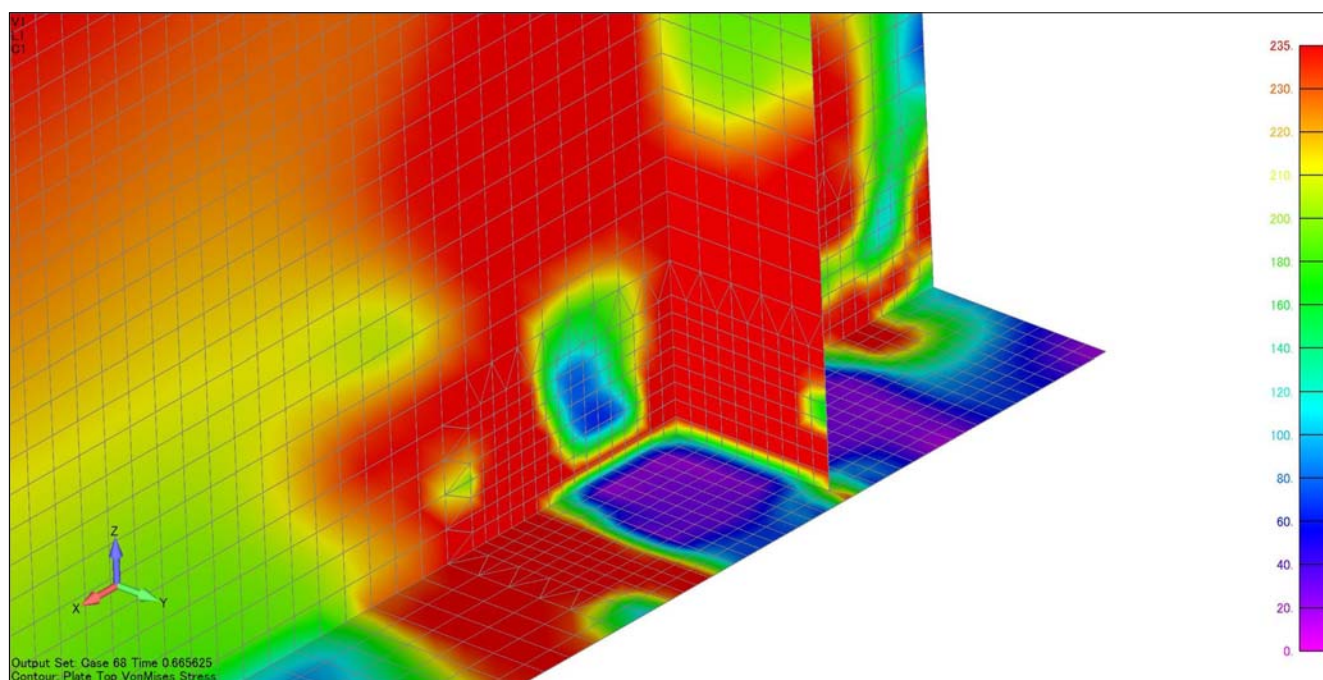
(1) 欠損幅 : 50mm



(2) 欠損幅：100mm

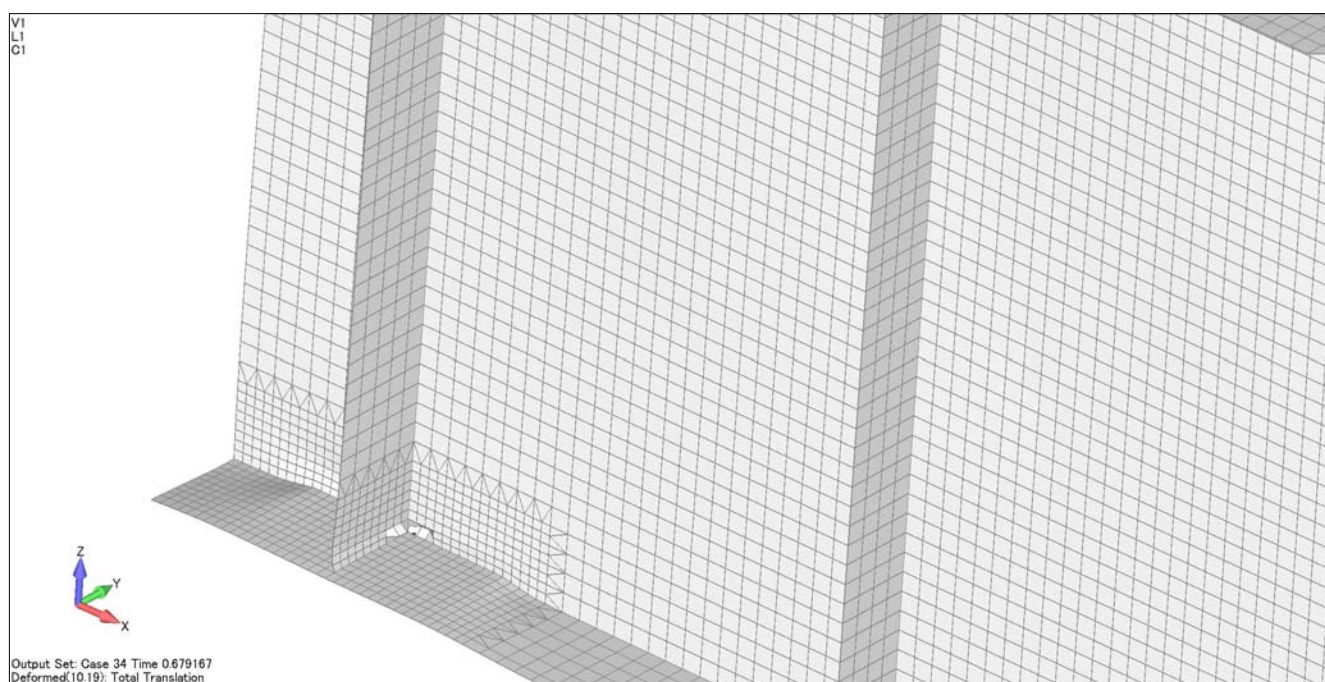
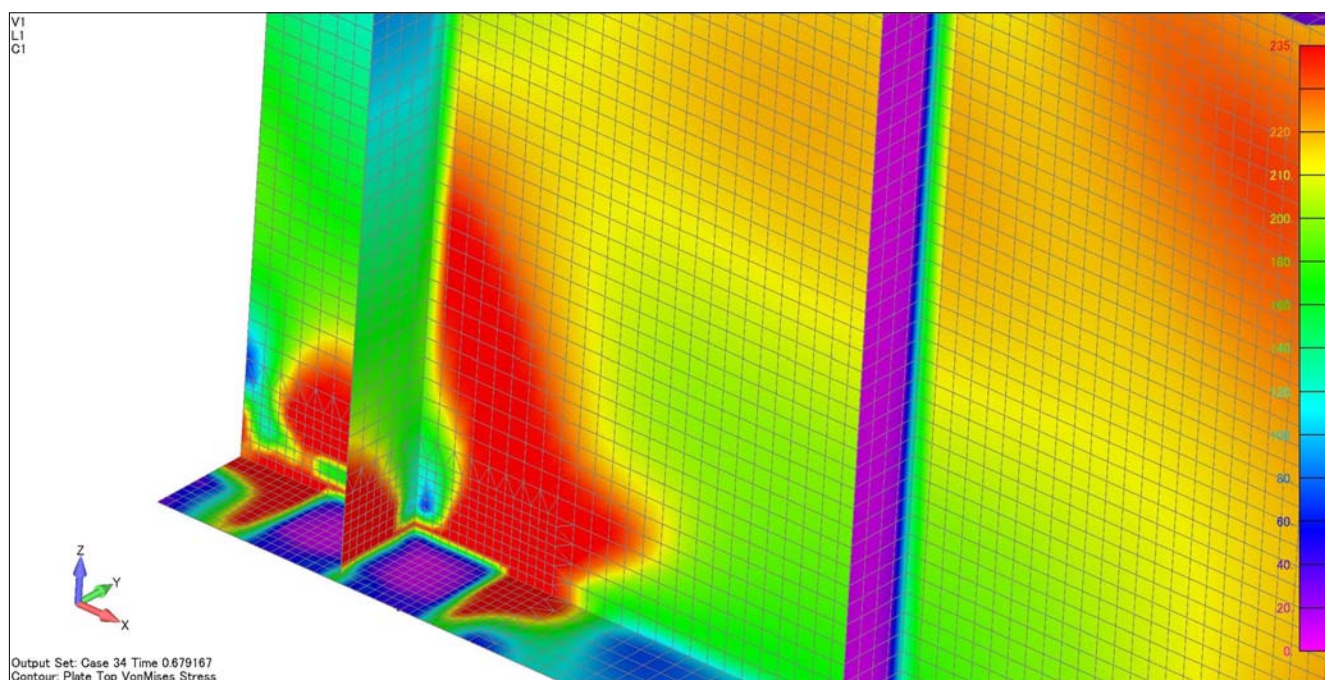


(3) 欠損幅：ソールプレート幅

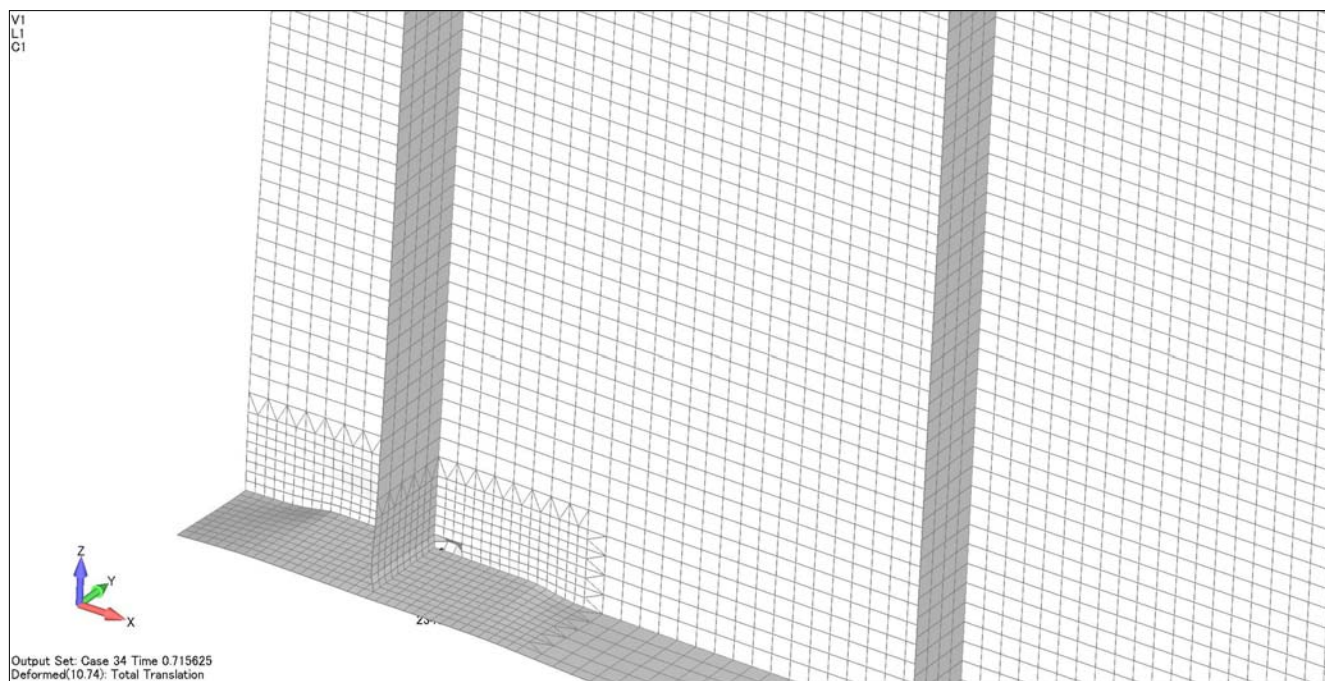
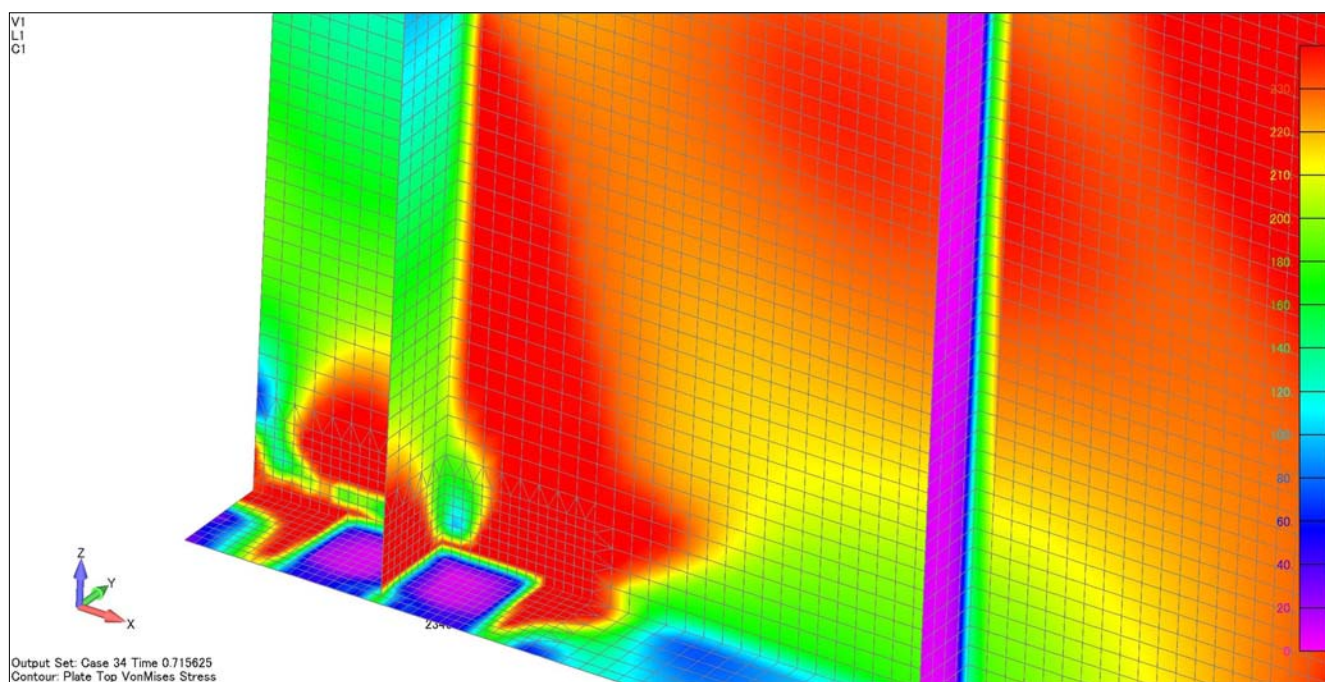


4-4. 十字欠損モデルにおける欠損幅・欠損部板厚のパラメータ解析 (欠損モデルCASE-6, フランジ厚 $t_f=12\text{mm}$, BP支承)

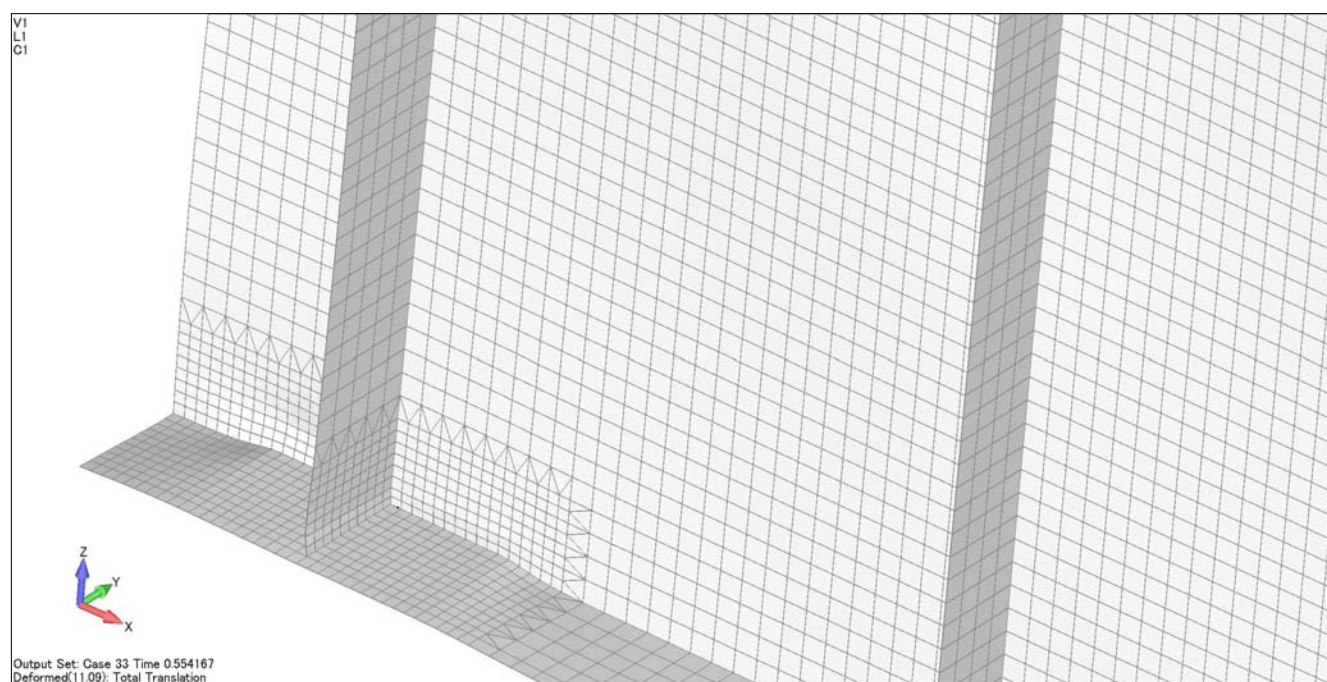
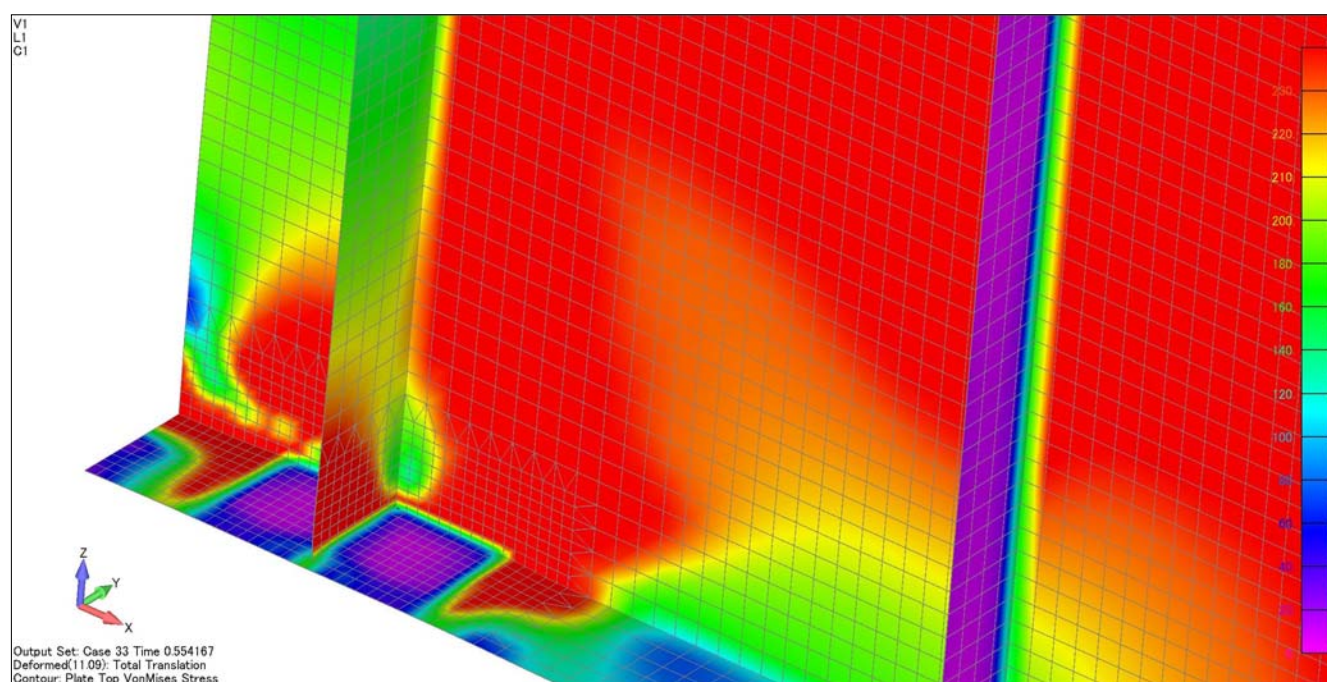
(1)-1. 欠損幅50mm, 欠損部板厚0mm



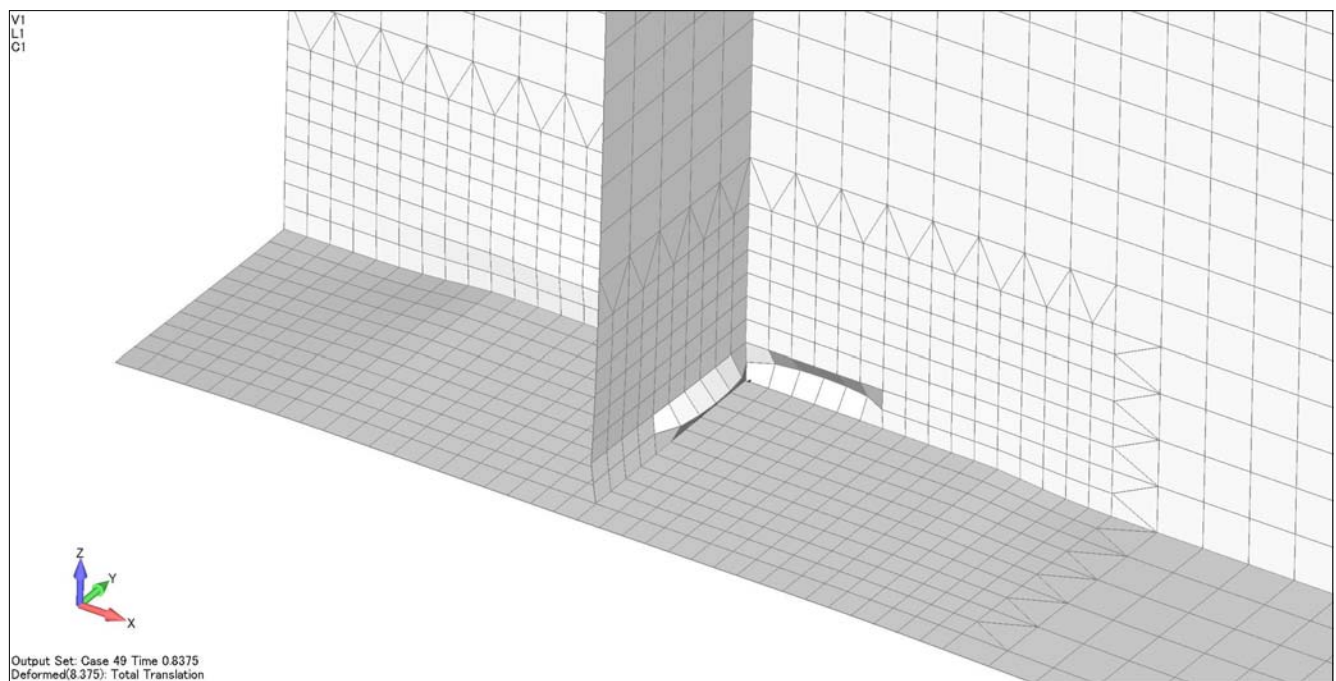
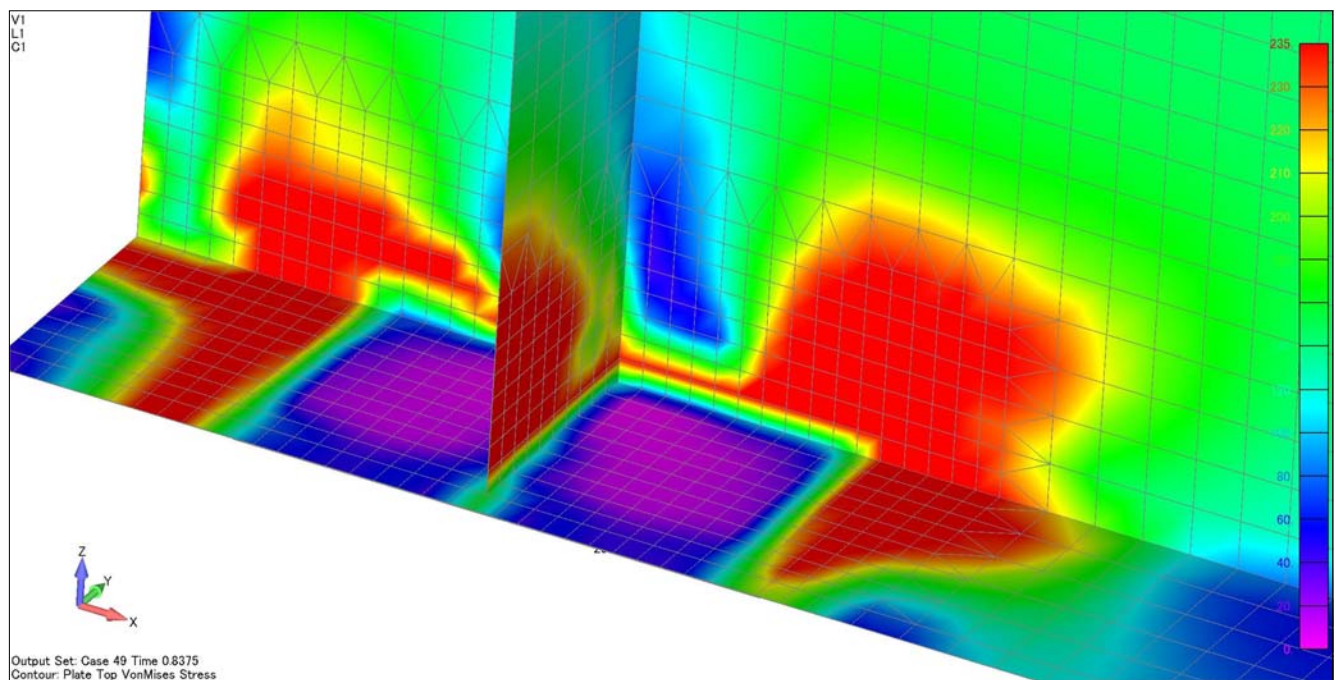
(1)-2. 欠損幅50mm, 欠損部板厚 ウェブ0mm・補剛材5mm



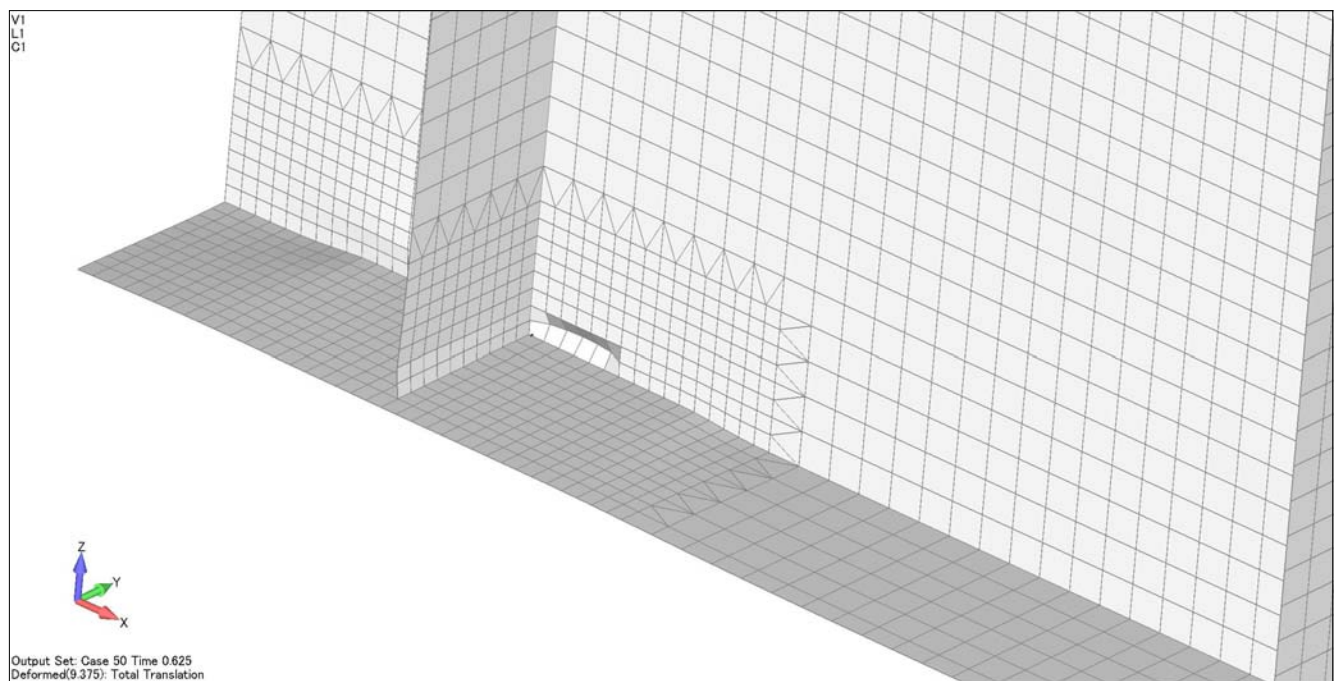
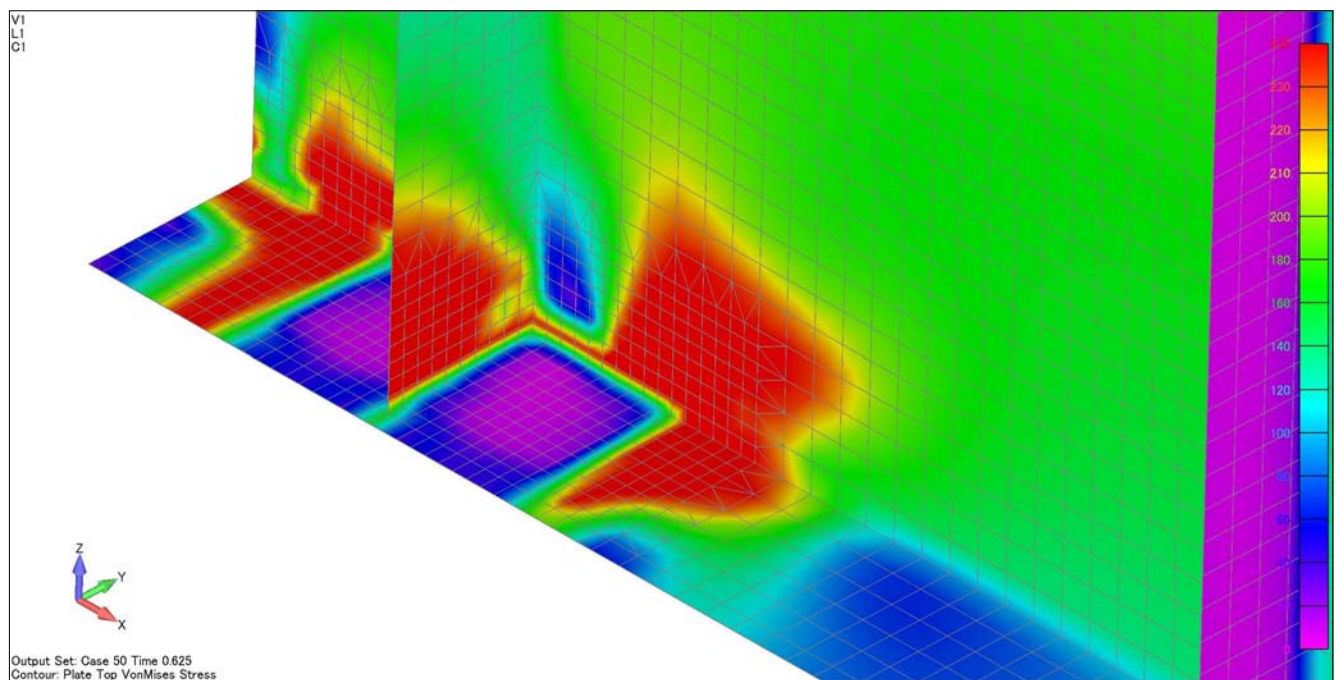
(1)-3. 欠損幅50mm, 欠損部板厚 ウェブ・補剛材共 5mm



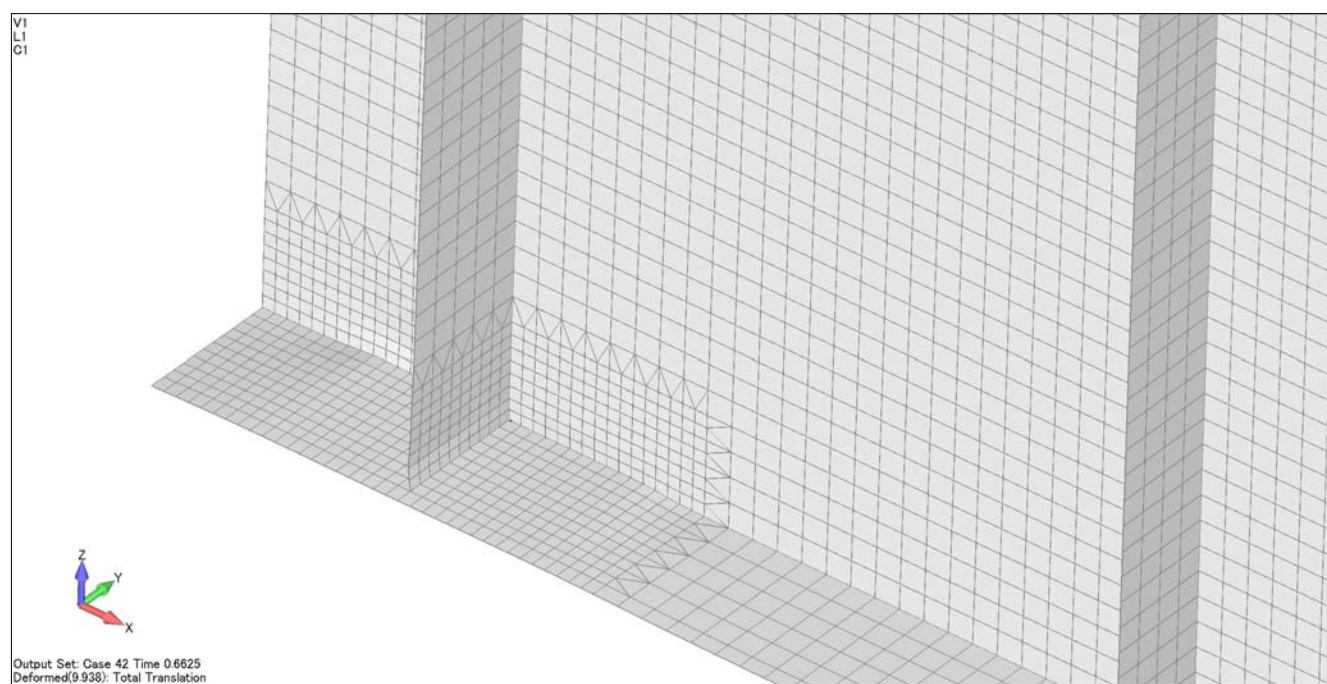
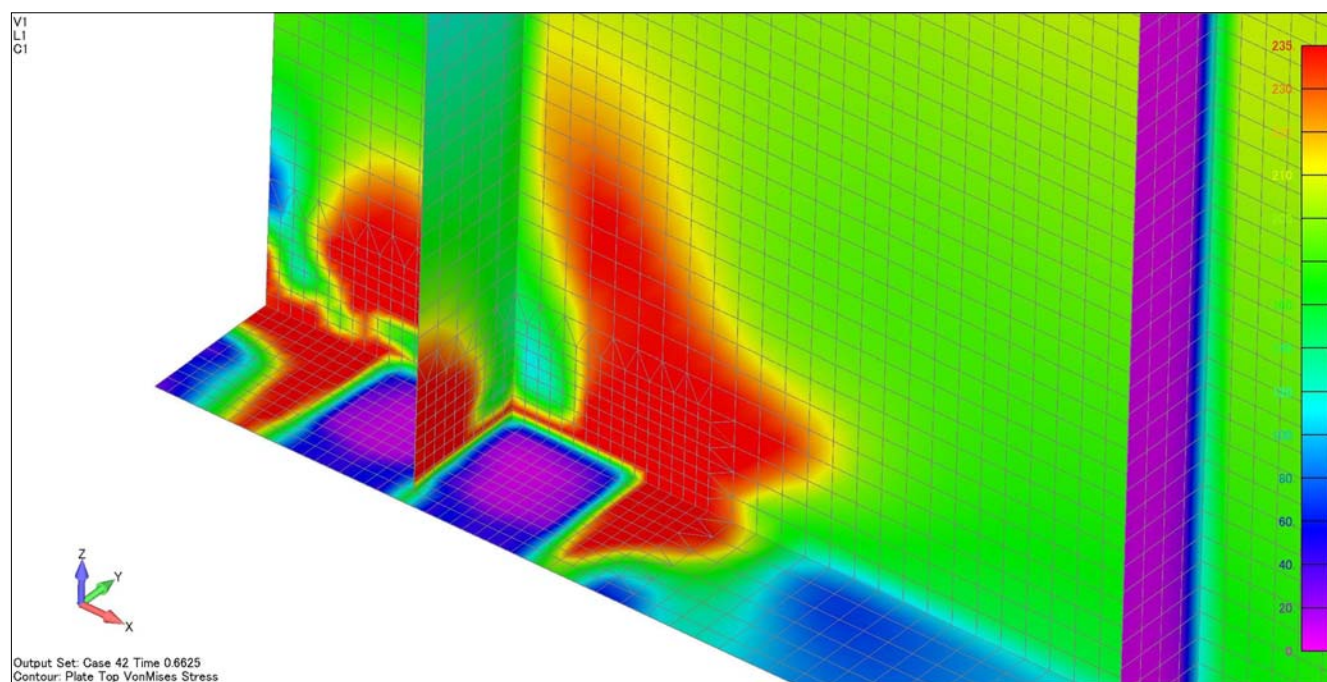
(2)-1. 欠損幅100mm, 欠損部板厚0mm



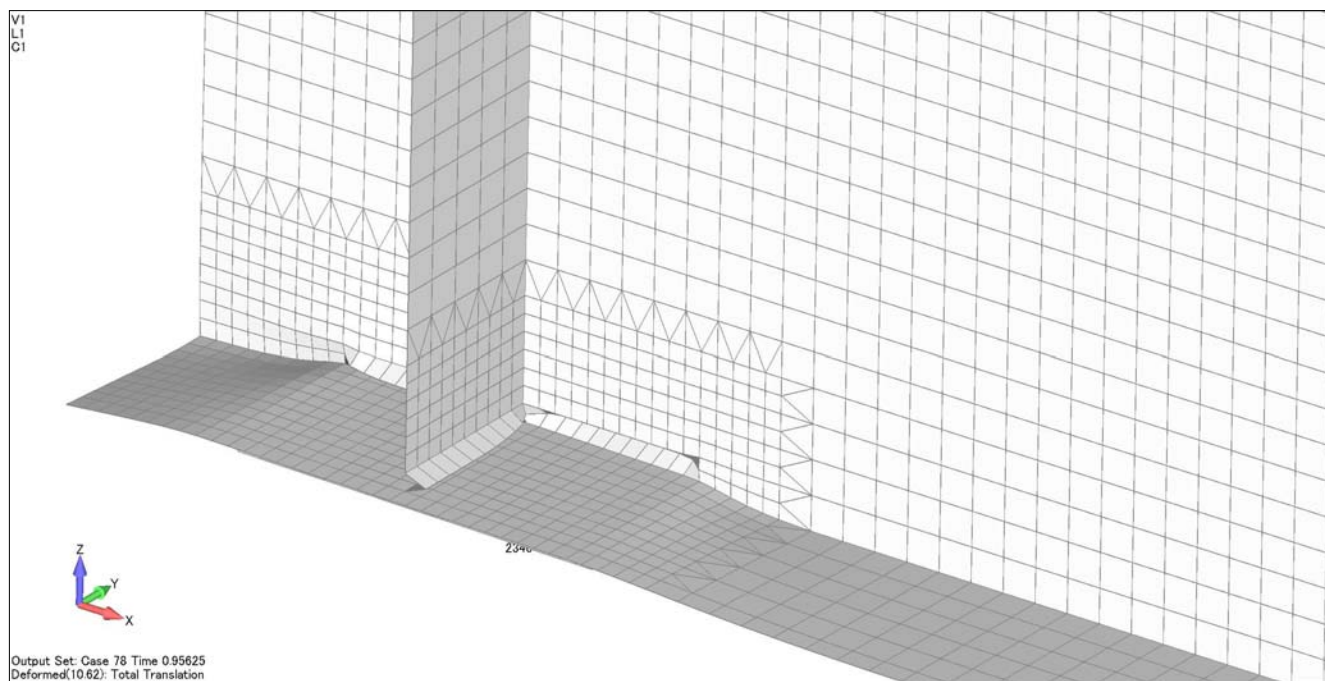
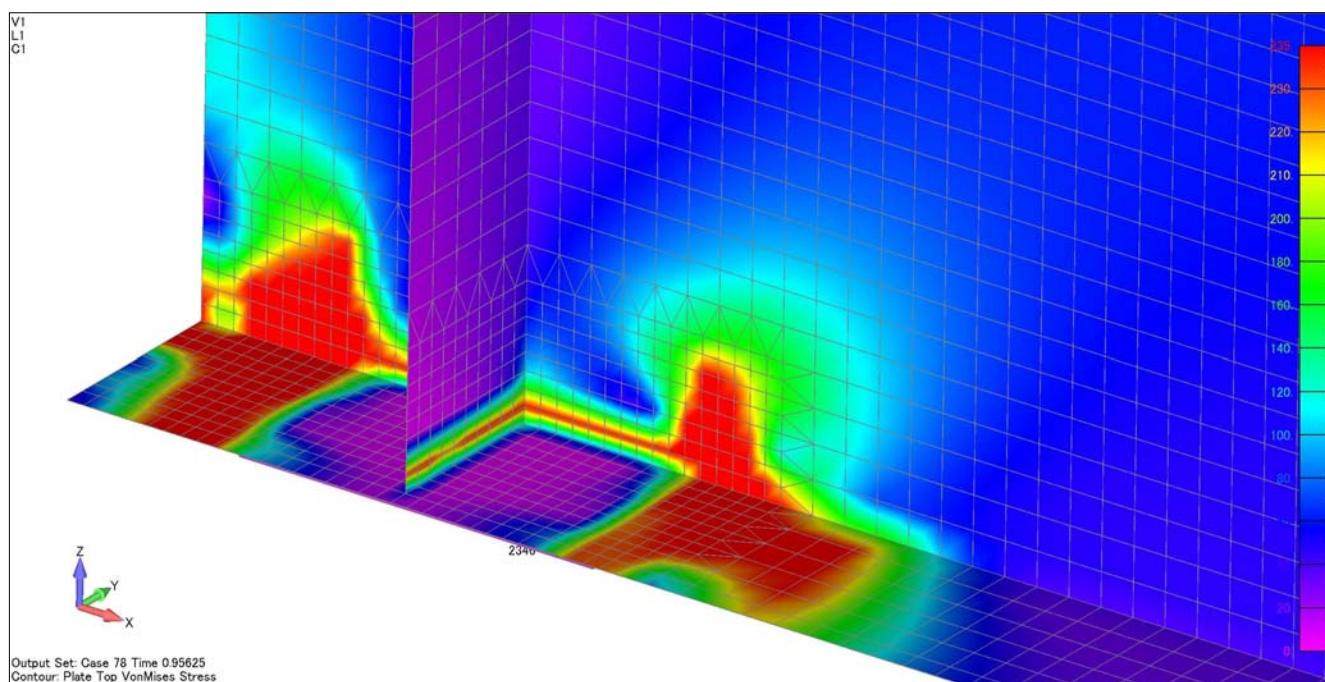
(2)-2. 欠損幅100mm, 欠損部板厚 ウェブ0mm・補剛材5mm



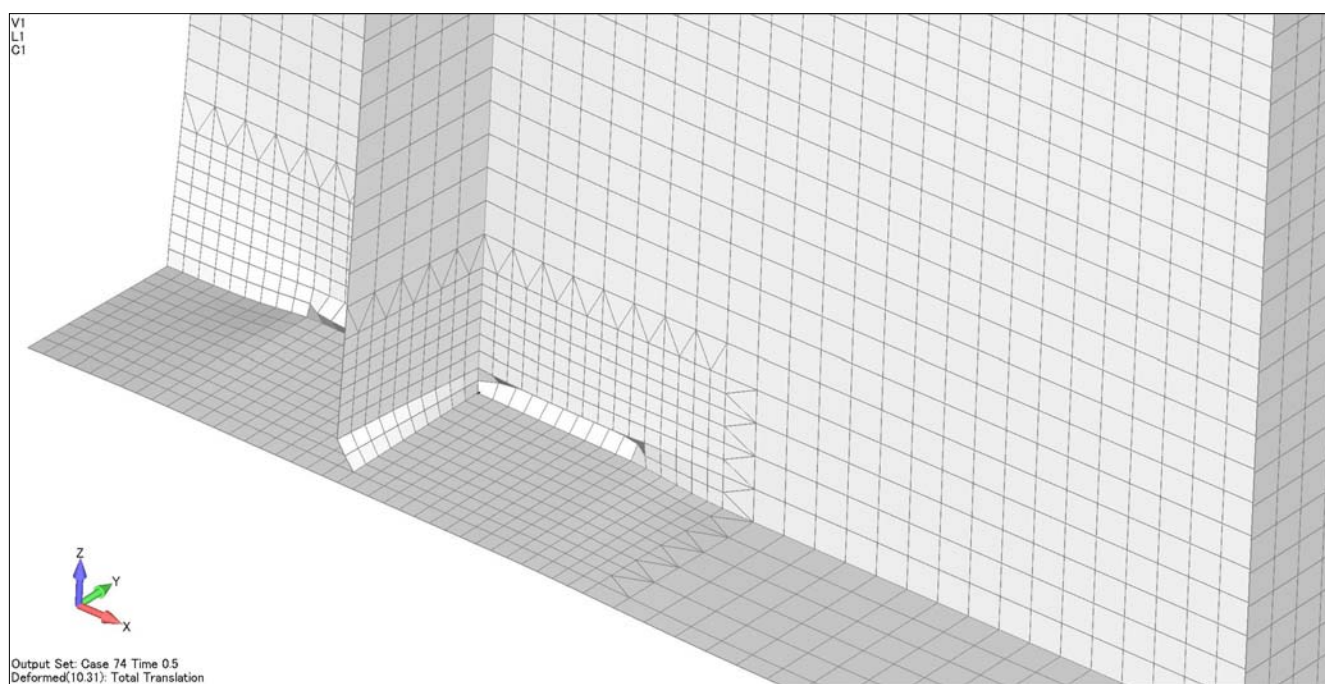
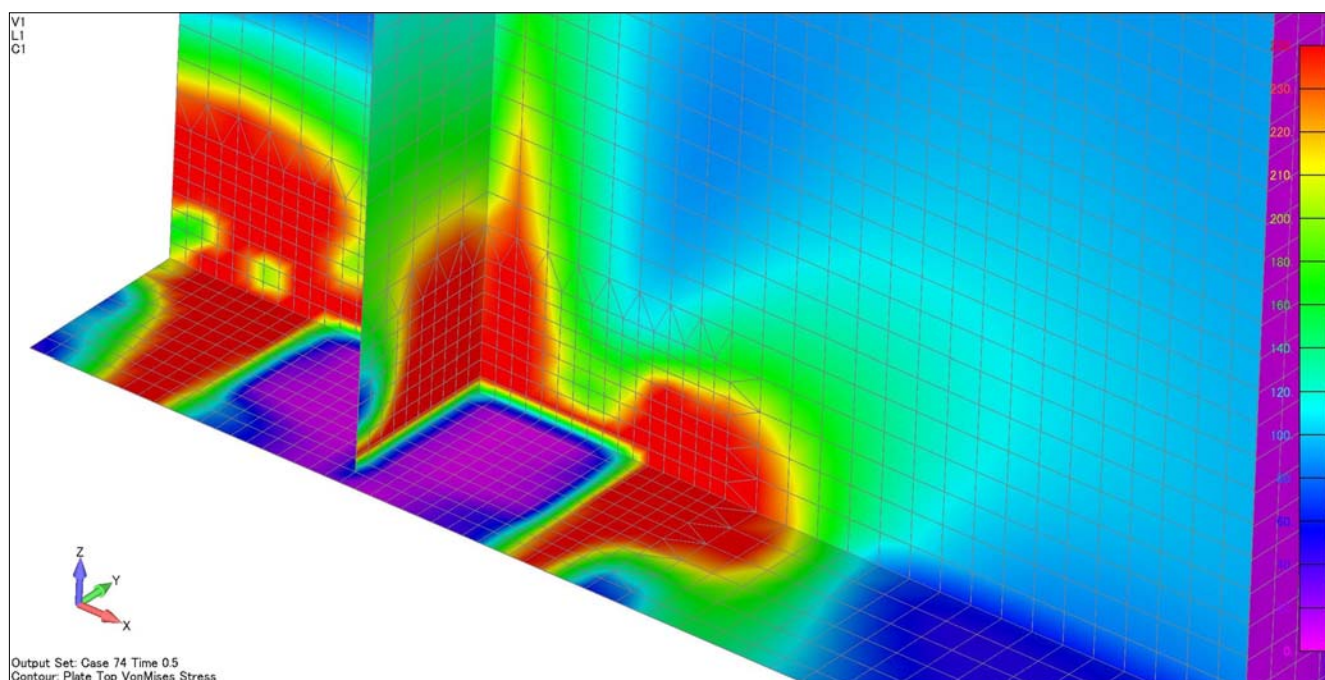
(2)-3. 欠損幅100mm, 欠損部板厚 ウェブ・補剛材共 5mm



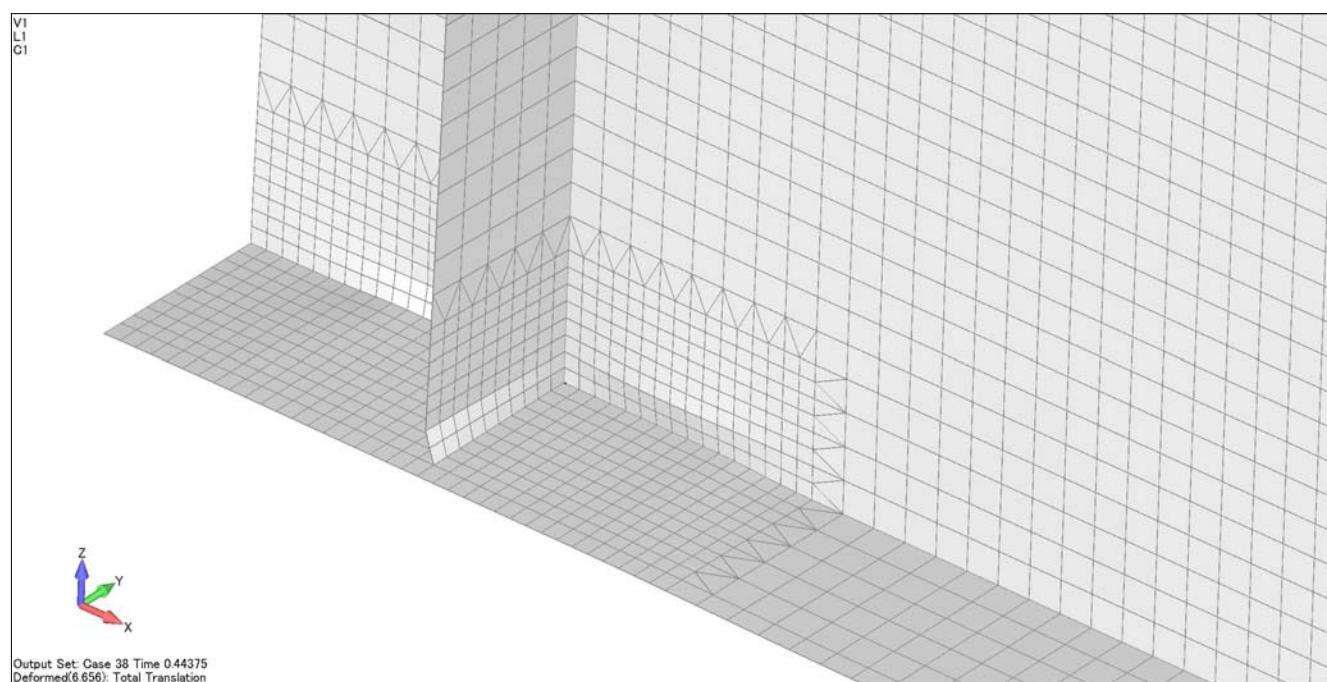
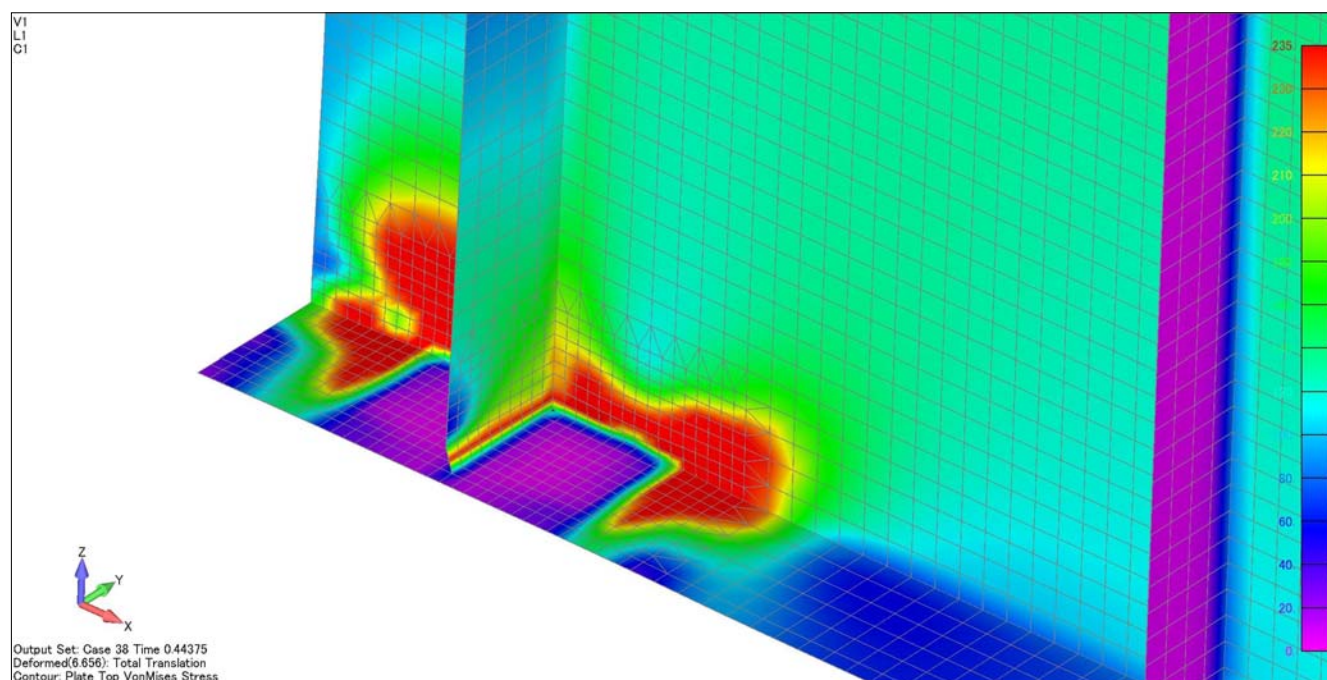
(3)-1. 全幅欠損（ウェブはソールプレート幅），欠損部板厚0mm



(3)-2. 全幅欠損（ウェブはソールプレート幅），欠損部板厚 ウェブ0mm・補剛材5mm

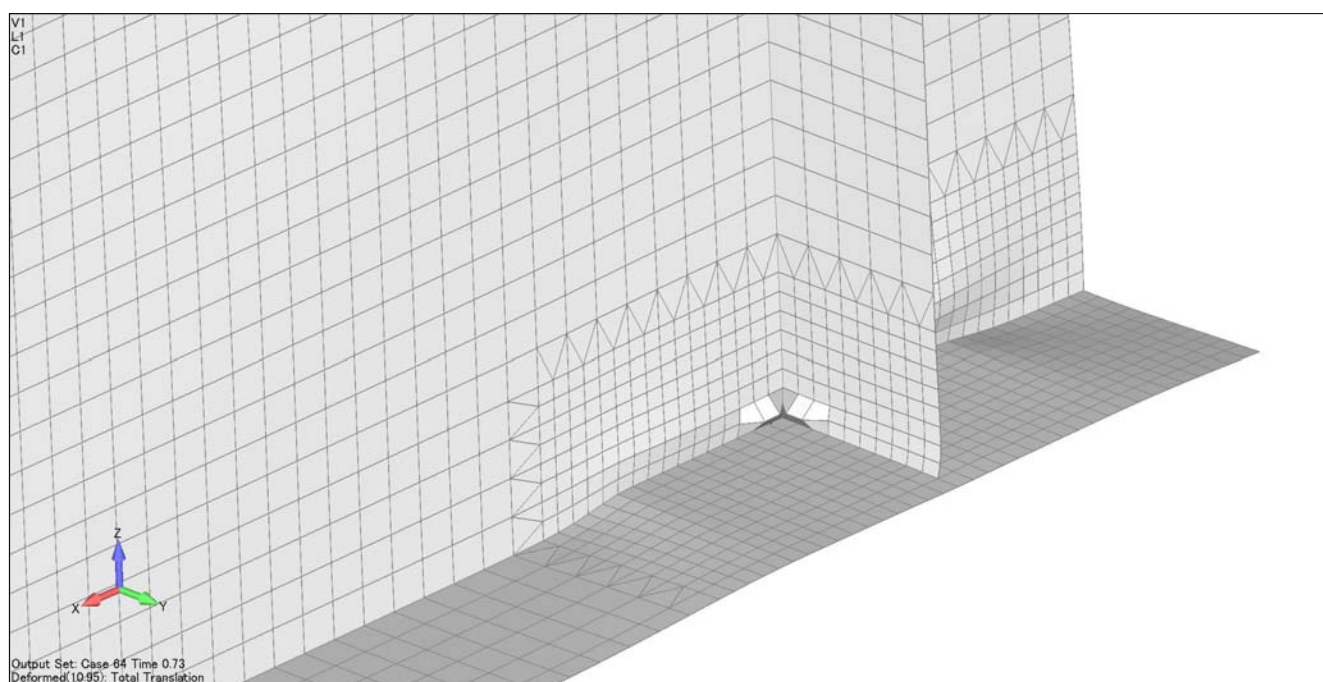
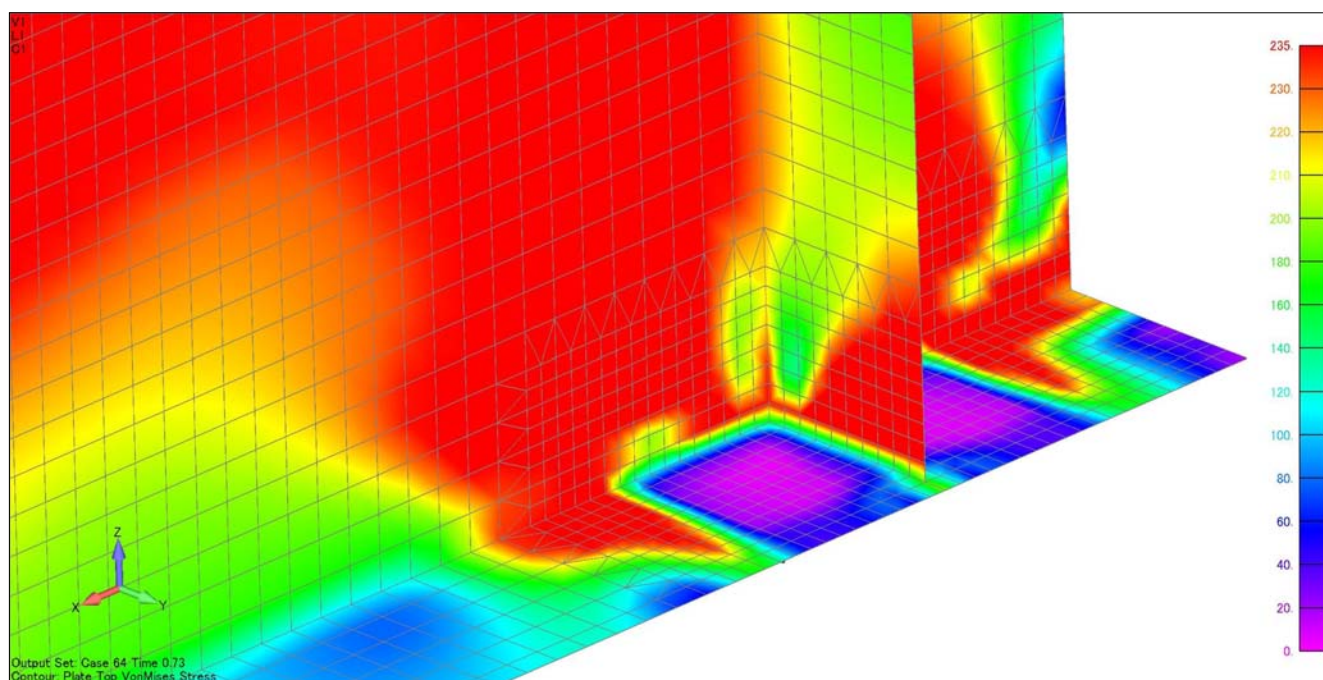


(3)-3. 全幅欠損（ウェブはソールプレート幅）， 欠損部板厚 ウェブ・補剛材共 5mm

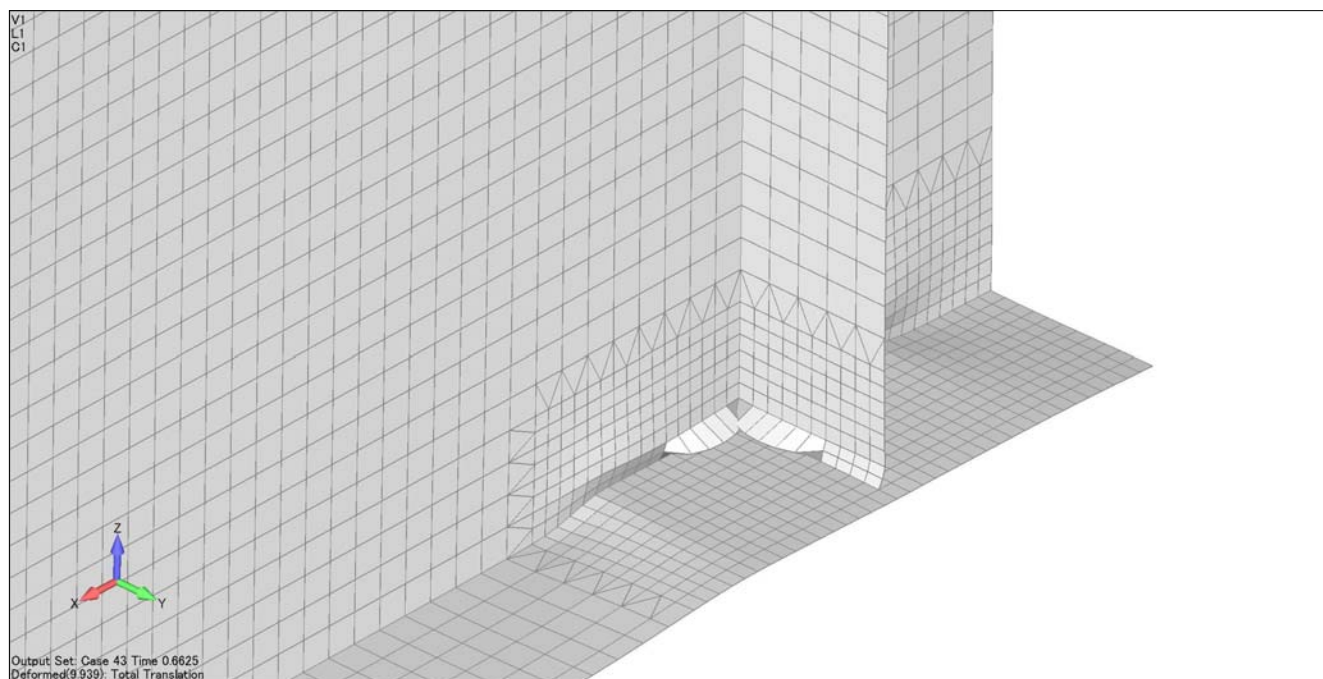
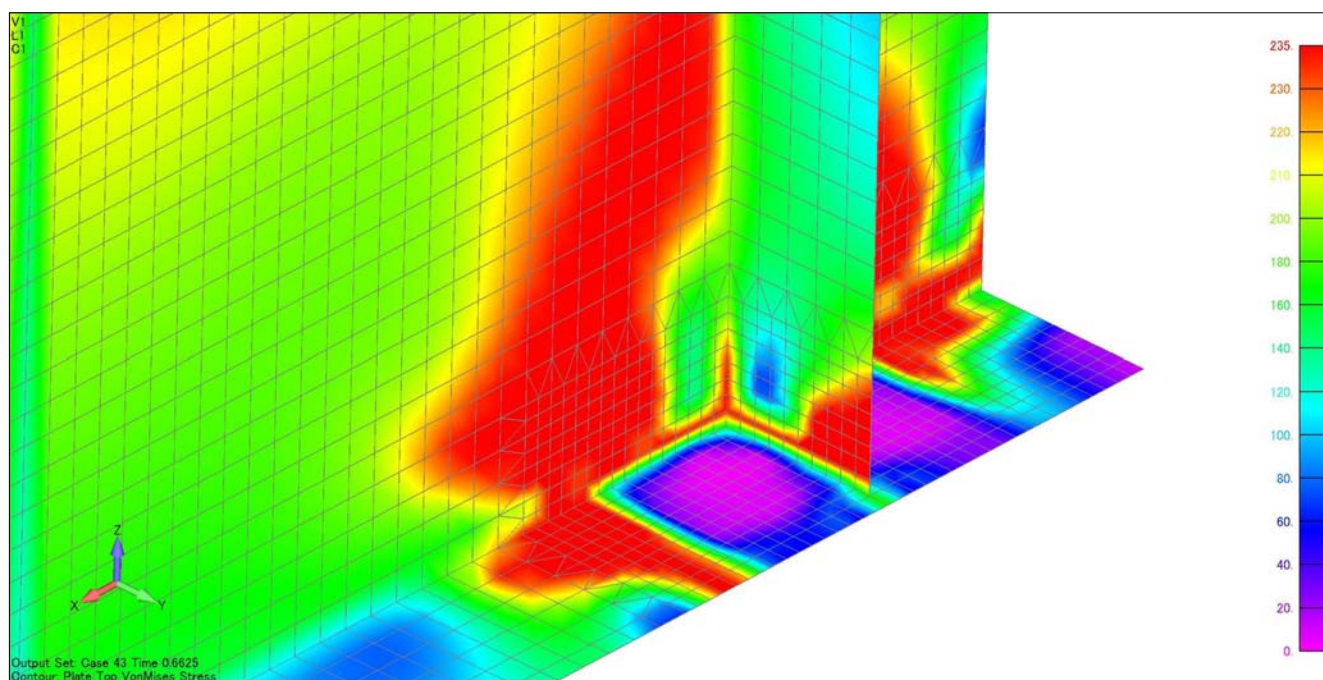


4-5. L字欠損モデルにおける欠損幅・欠損部板厚のパラメータ解析
(欠損モデルCASE-7, フランジ厚 $t_f=12\text{mm}$, BP支承, 欠損部の板厚は0mm)

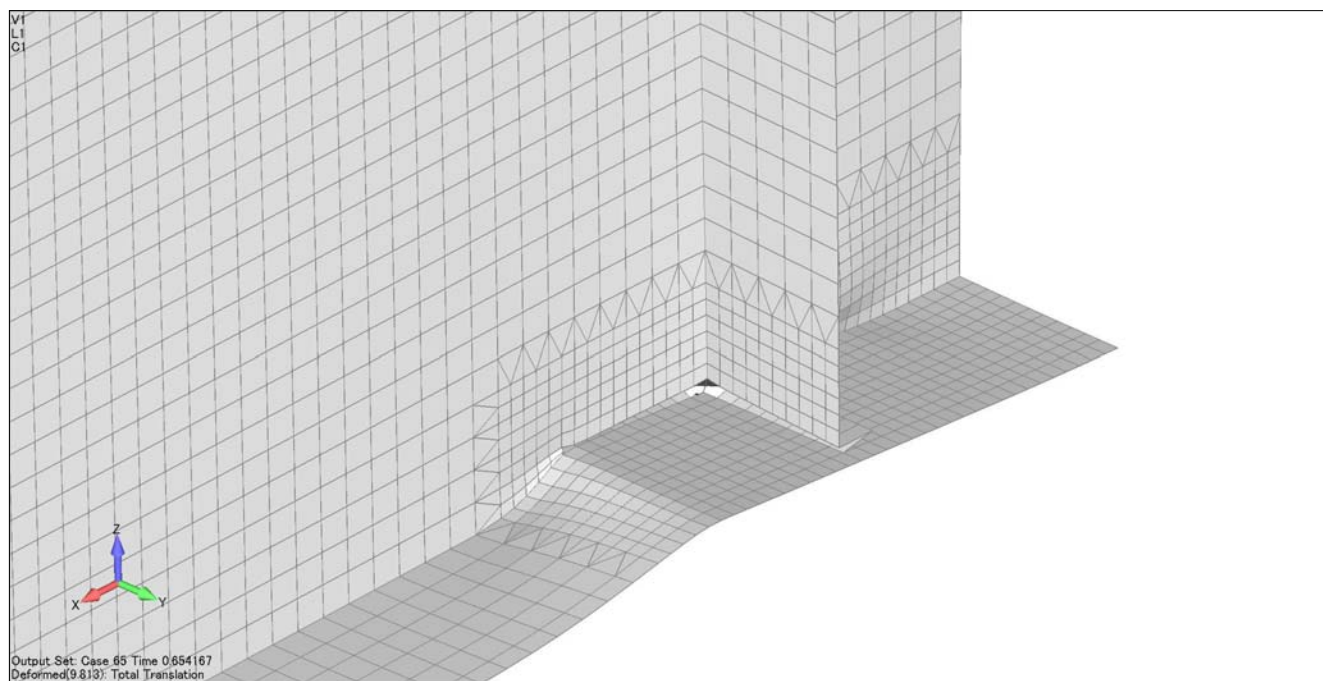
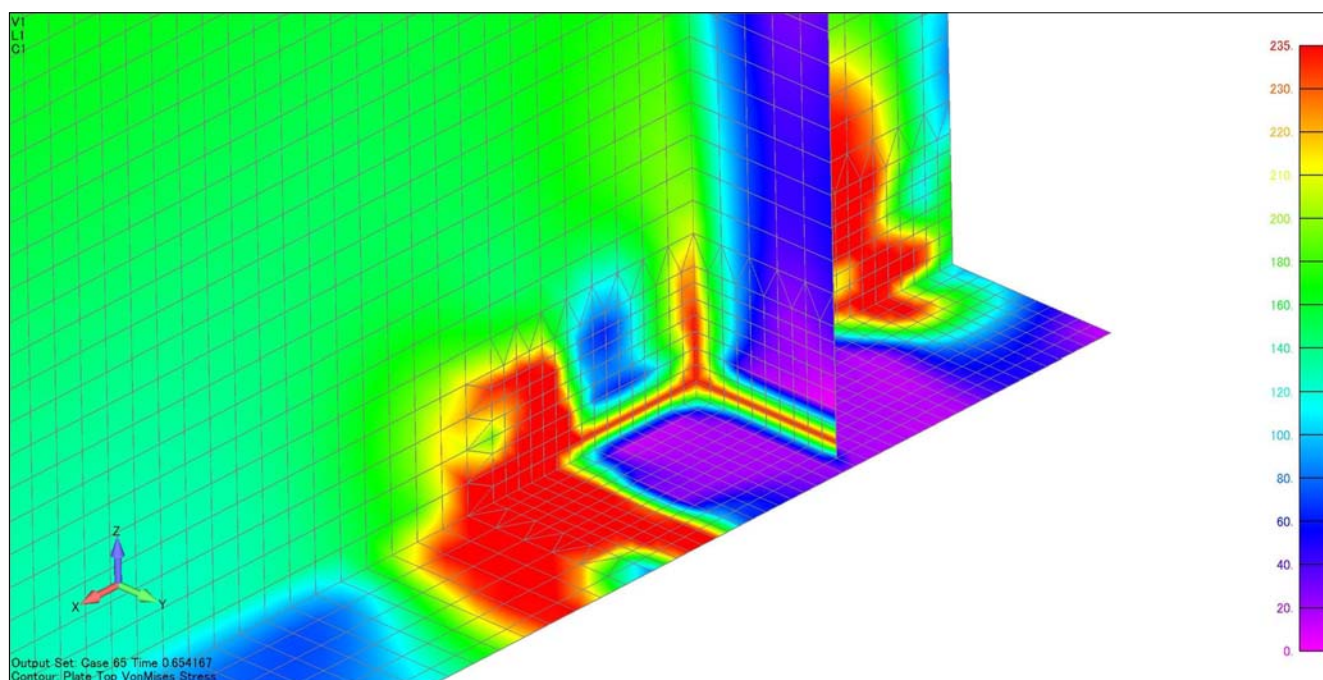
(1) 欠損幅50mm



(2) 欠損幅100mm (CASE-7)



(3) 全幅欠損（ウェブはソールプレート幅, CASE-7）



(4) 全幅欠損（ウェブはソールプレート幅+50mm, CASE-7）

