

疲労解析

疲労の要因、疲労評価手順と疲労強度設計

(株)TTES

菅沼 久忠

No. 1

疲労解析

～疲労の要因、疲労評価手順と疲労強度設計～

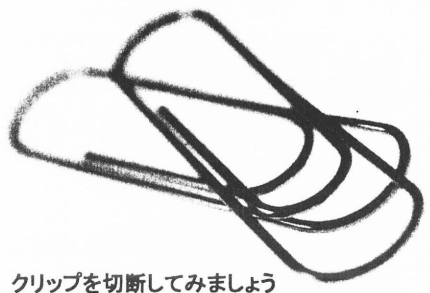
「鋼構造における有限要素法の基礎とその適用に関する講習会」
日 時 2008年6月26日(木)13:50～14:50

株式会社TTES
菅沼久忠

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 2

クリップの疲労

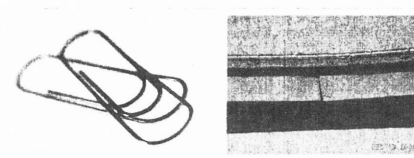


クリップを切断してみましょう

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 3

疲労現象とは



外力	人間の手	車輛の走行、風 など
結果	クリップが切れた	部材の破断
現象	応力の繰り返し	

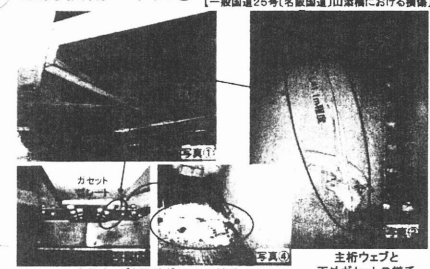
Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 4

山添橋

疲労損傷の事例① 【資料-1】

【一般国道25号(名阪国道)山添橋における調査】



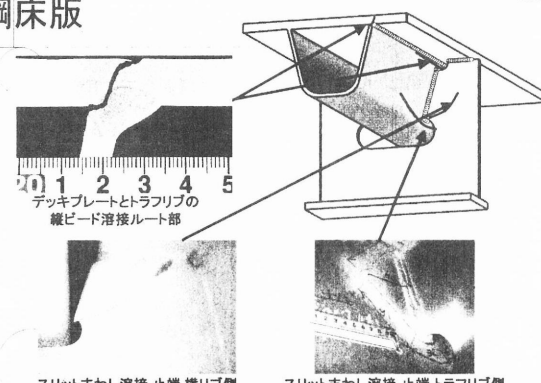
主桁ウェブと面外ガセットの継手
面外ガセットの継手

【H18.11.10 近畿地方整備局 記者発表資料より】
【出典：近畿地整 記者発表資料(平成18年11月10日)】

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 5

鋼床版



デッキプレートとトラフリップの縦ビード溶接ルート部

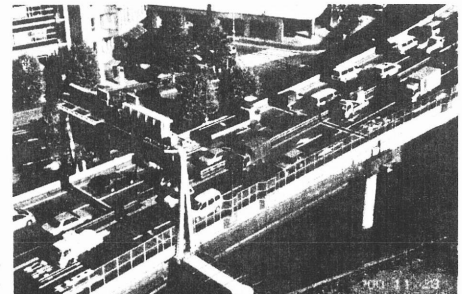
スリットまわし溶接 止端 横リブ側 スリットまわし溶接 止端 トラフリップ側

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

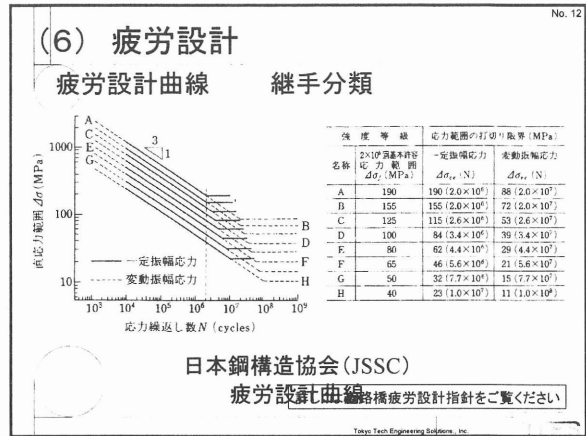
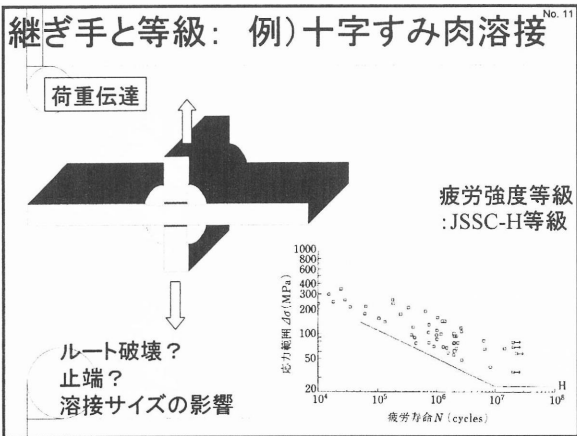
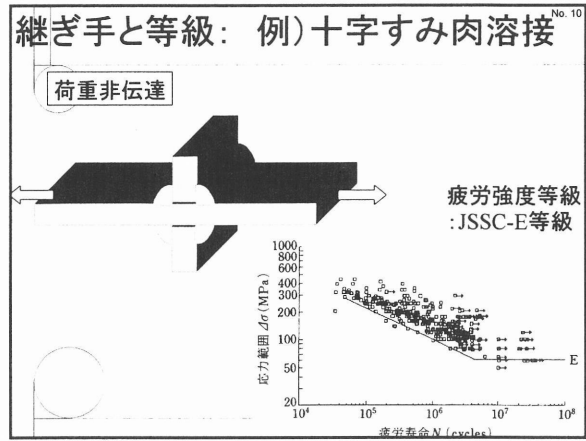
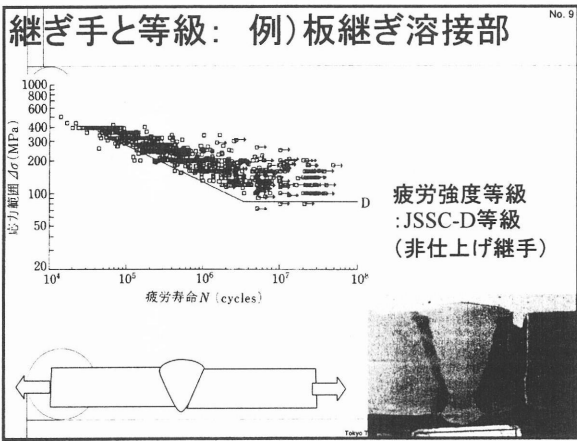
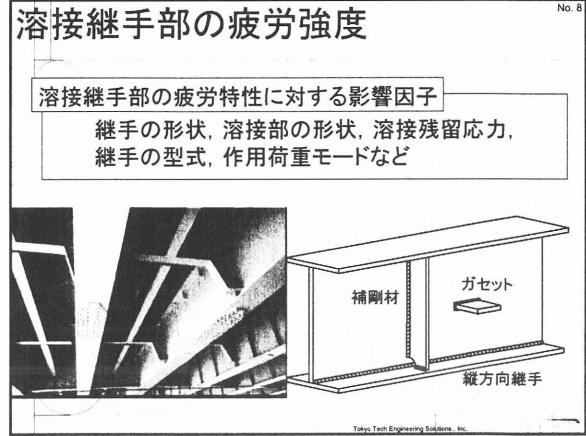
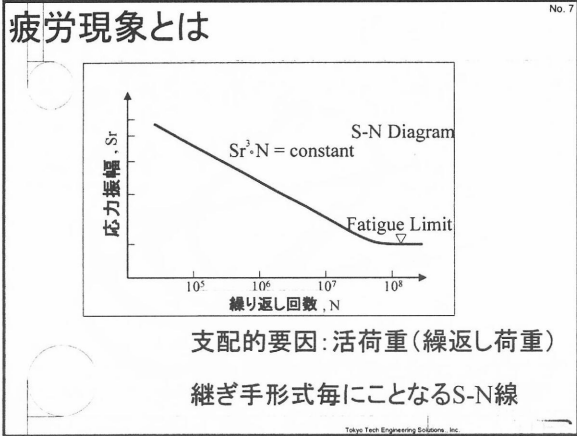
No. 6

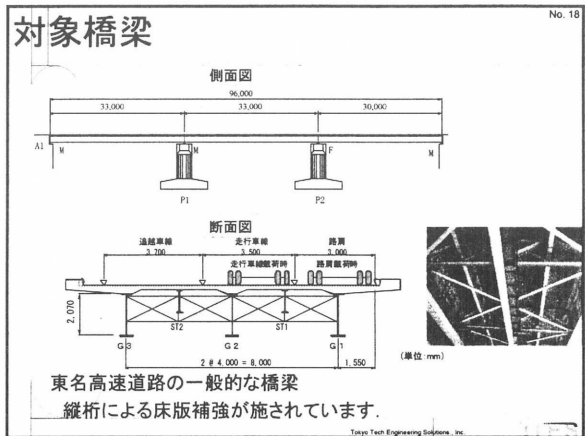
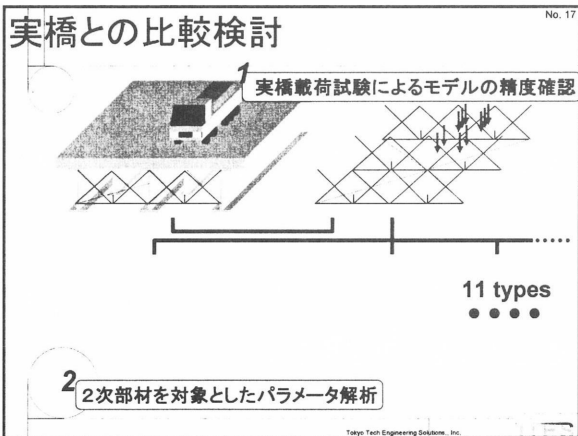
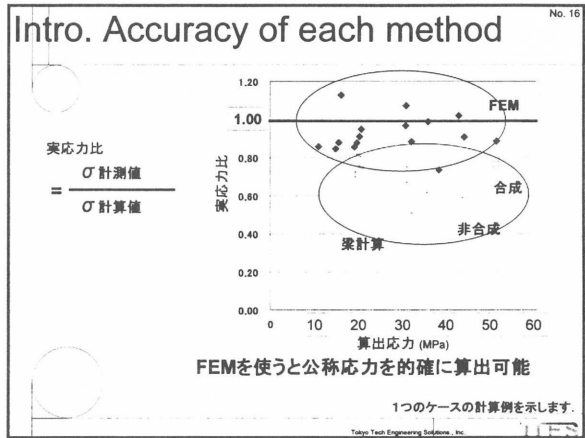
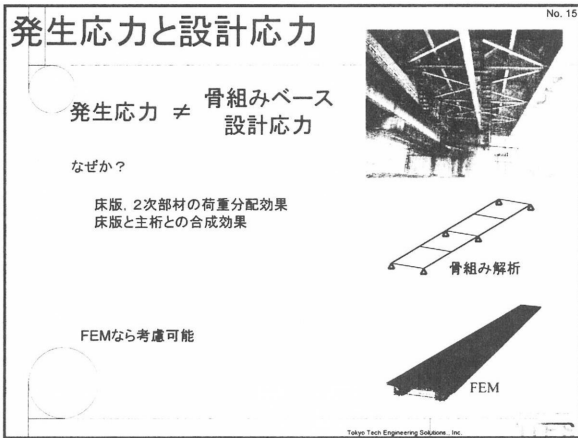
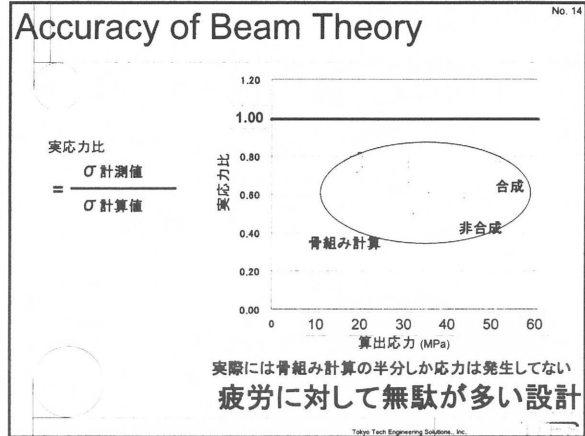
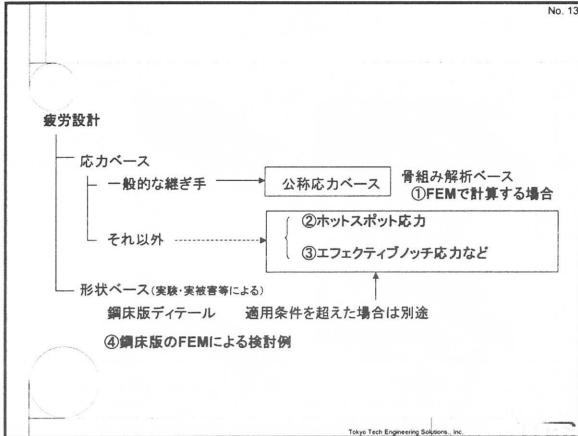
(4) 溶接継手部の疲労強度

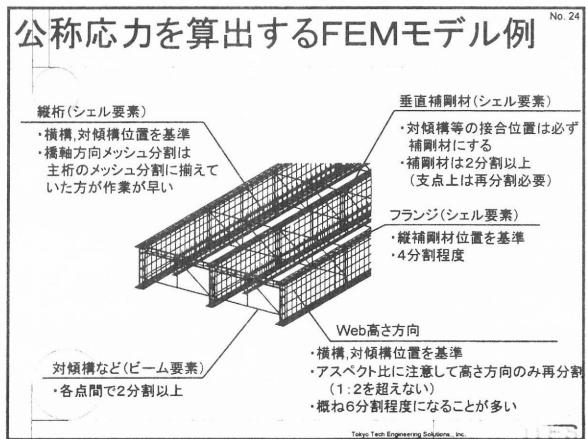
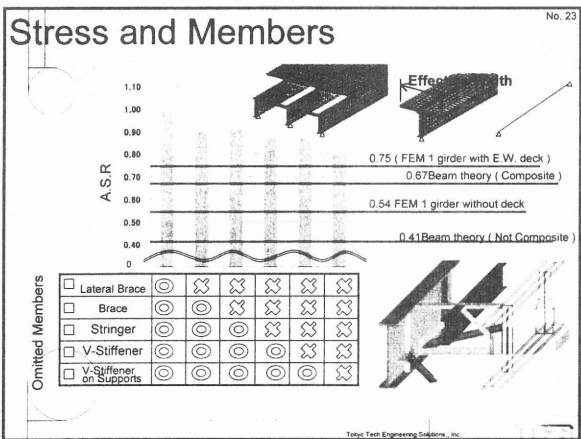
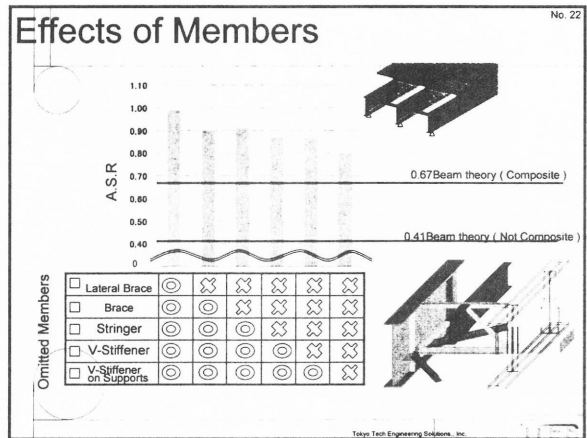
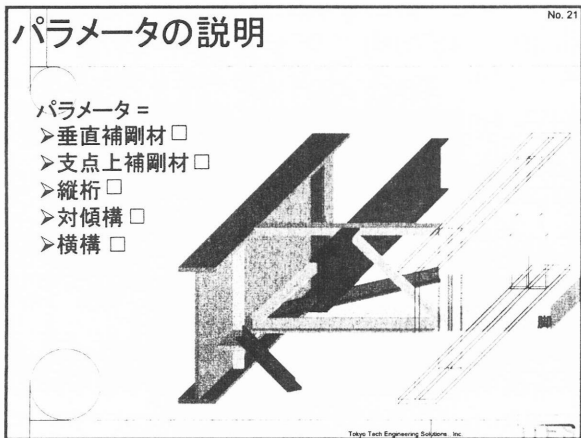
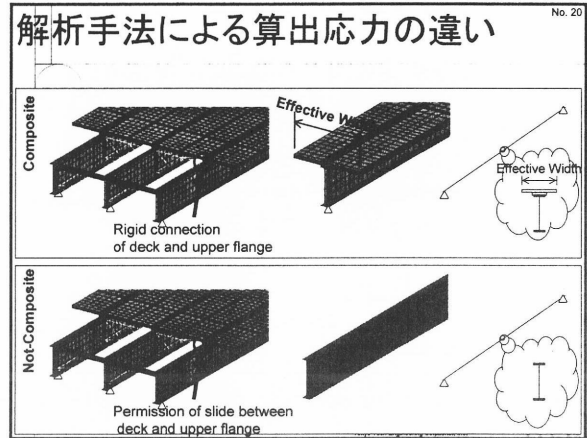
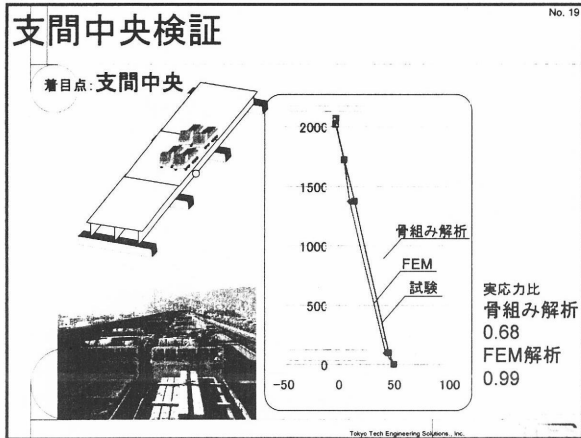
疲労現象 支配的要因: 活荷重(繰返し荷重)



Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.







床版のモデル化例

No. 25

シェルの場合

中央分離帯
剛体バー

- 主桁U用gと床版を剛体バーで合成化
- 剛体バーはハンチ+1/2床版厚

ソリッドの場合

ソリッド要素

- 層方向に3層
- ハンチモデル化
- 上フランジ、床版は合成

Tekno Tech Engineering Solutions, Inc.

シェル要素から得る応力について

No. 26

例) ウェブと下フランジの接合部

- × 下フランジ応力をノードBで算出
- 下フランジ応力をエレメントa,bで算出
- 下フランジ応力をノードA,Cで算出

シェルの表裏には特に注意
フランジの上側or下側?

Tekno Tech Engineering Solutions, Inc.

局部応力ベースの疲労設計の重要性

No. 27

局部応力ベースの疲労強度評価は、
複雑な応力状態の場合に適用可能。

- 複雑な形状
- 構造的な不連続
- 複雑な板変形

Tekno Tech Engineering Solutions, Inc.

継手の複雑な形状

No. 28

影響因子

ビードのサイズ, 角度, 仕上げ, 板厚, 対称性,
応力伝達の複雑さ

WJ Recommendations for fatigue design of welded joints and components 2/3
(一) 鋼材/溶接継手の疲労設計(社団法人溶接学会 溶接疲労強度研究委員会(編)掲載あり)

Tekno Tech Engineering Solutions, Inc.

構造の不連続性

No. 29

Large opening
Curved beam
Shear lag
Flange curling
Discontinuity effect in a shell
Eccentric joint

WJ Recommendations for fatigue design of welded joints and components 4/9

Tekno Tech Engineering Solutions, Inc.

複雑な板変形

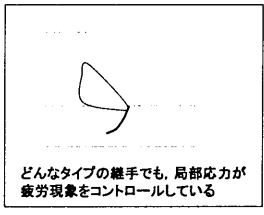
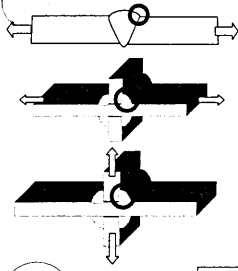
No. 30

例えば鋼床版の変形

Axle Load

Tekno Tech Engineering Solutions, Inc.

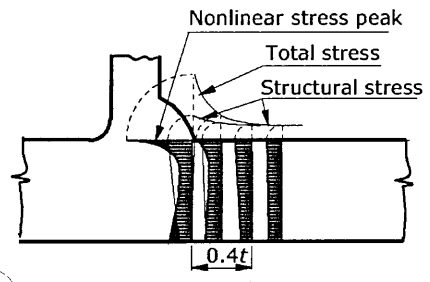
継手の種類と局部応力ベースの疲労設計



どんなタイプの継手でも、局部応力が疲労現象をコントロールしている

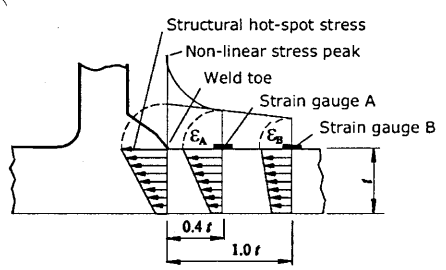
継手の種類は、局部応力ベースの疲労強度評価には影響しない。

局部の応力の構成 イメージ



WJ Recommendations for fatigue design of welded joints and components 2.0
Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

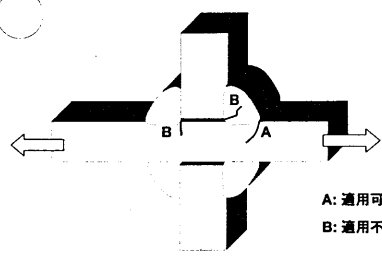
ホットスポット応力の推定法



線形外挿

WJ Recommendations for fatigue design of welded joints and components 2.0
Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

ホットスポット応力の適用範囲

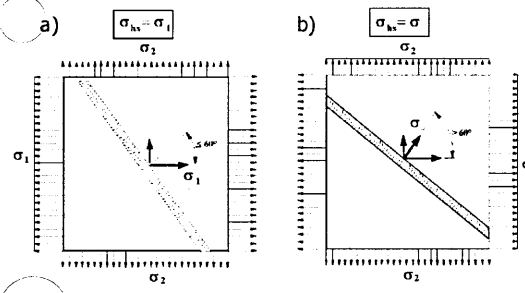


- A: 適用可能 : 止端き裂
- B: 適用不可能 : ルートき裂

適用不可 : 強い板曲げが発生する箇所
外挿点が設けられない箇所

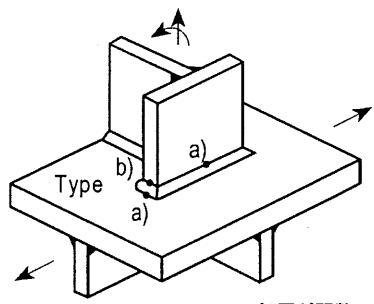
WJ Recommendations for fatigue design of welded joints and components 2.0
Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

応力方向と溶接ビードの関係



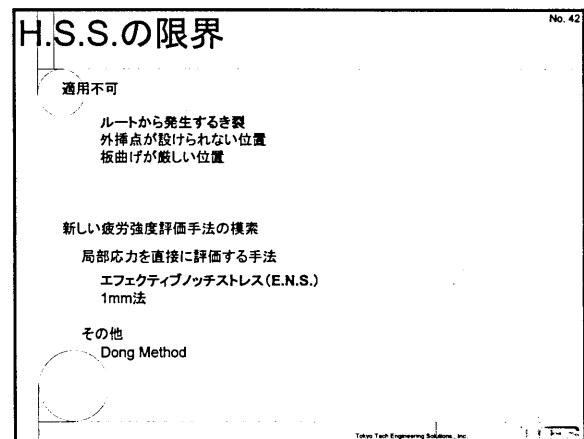
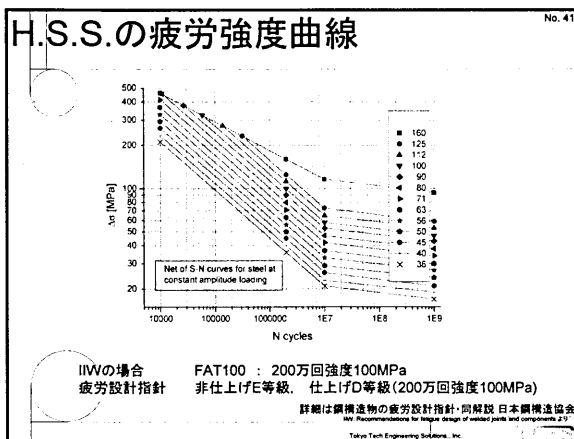
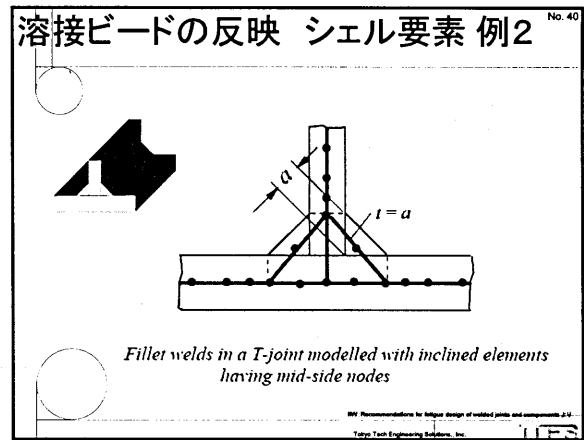
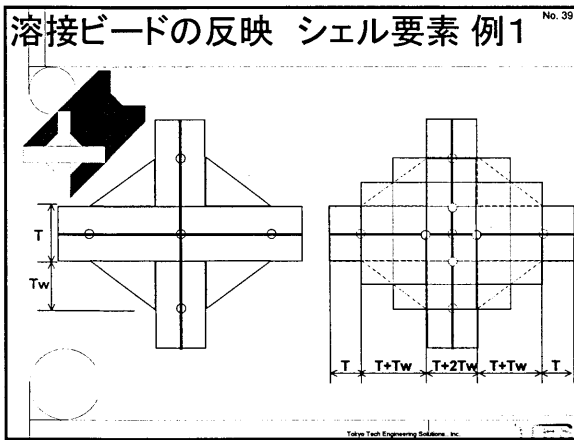
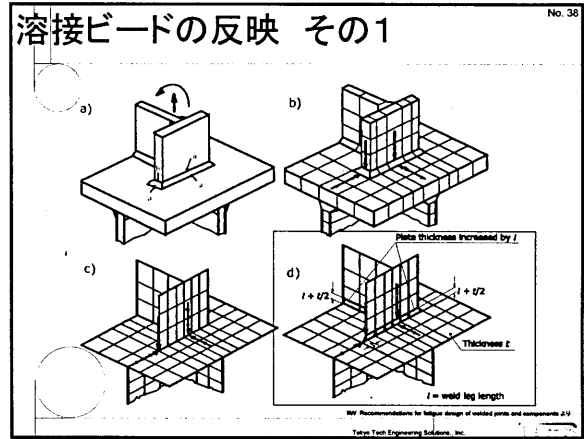
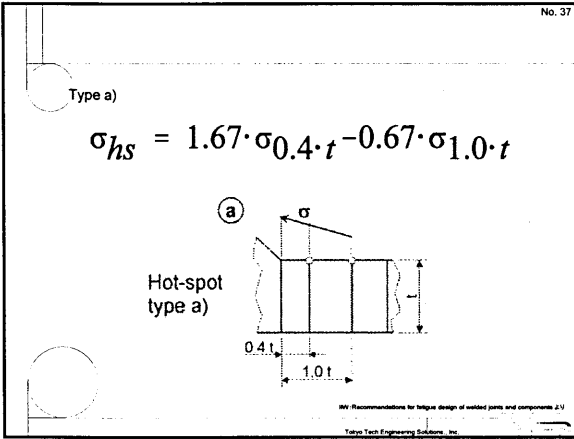
WJ Recommendations for fatigue design of welded joints and components 2.0
Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

H.S.S.のタイプ



- a) 板厚が関数になるタイプ
- b) 板厚が関数にならないタイプ

WJ Recommendations for fatigue design of welded joints and components 2.0
Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.



No. 43

Effective Notch Stress

Radius = 1 mm

止端を仕上げた場合は半径 = 2mm
板厚が5mm以上あること

止端部およびルートの端に半径1mmの仮想円弧を設けて直接に評価
評価応力 例えはミーゼスの応力
設計疲労曲線 FAT225

現在、検討が進んでいる

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 44

適用範囲

	計算手法	適用
公称応力ベース	骨組み計算 FEM(シェル)	主部材 継手の疲労強度等級有り
H.S.S.	FEM(主にシェル)	外挿点が設けられる溶接位置 止端き裂 (ルートき裂不可) 板曲げ軽微
E.N.S.	FEM(ソリッド)	止端およびルートき裂

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 45

ズーミング手法 (Sub-modeling手法)

橋梁の特徴: 橋長は数百メートル ⇔ 溶接部 数ミリ

一度に解析を実行するのが、計算機の能力的に困難な場合あり

全体の解析結果の一部を使って、詳細部を細かく検討する方法
ズーミング解析 (Sub-modeling手法)

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 46

ズーミング手法 (強制変位による方法)

ズーミング時の注意点

- ・サブモデルにも荷重を忘れない
- ・変形が複雑な位置を境界としない

節点荷重による方法もあり
・拘束条件を追加する

● モデル1の結果が入力される節点
○ モデル1の結果を比例配分した結果が入力される節点
● 新たに計算される節点

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 47

疲労検討例

形式: 3径間鋼床版トラス橋
橋長 約760m
センタースパン 120m

東京港臨海大橋(仮称)の検討

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 48

検討対象 疲労き裂

デッキプレートとトラフリップの
縦ビード溶接ルート部

スリットまわし溶接 止端 横リブ側
スリットまわし溶接 止端 トラフリップ側

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 49

ルート部応力の評価方法

Asphalt Deck

Deck Root Weld Rib

Hot Spot method (Conventional)

Effective Notch Stress method

Direct Evaluation

Only for toe crack

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 50

エフェクティブノッチを有するFEM

part model

Sub model Area

Root effective notches

Toe effective notches

a) 75 penetration model

Root effective notches

Toe effective notches

b) Shallow penetration model

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 51

Effect of weld penetration at general section

ローカルな検討では丁荷重では不十分

75% penetration

Deck plate 281MPa

0 MPa

Trough Rib 226MPa

Shallow penetration

Deck plate 325MPa

266MPa

Trough Rib 214MPa

Bead penetrating crack occurs

5t

5t

200

150

100

50 (MPa)

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 52

検討例 鋼床版トラフリブ形状

1st Selection of high fatigue resisted slit geometry

Whole Bridge Analysis (Shell element)

120m

Sub-modeling

4m

4m

Detail Analysis With 3 trough ribs and 3 transverse ribs (Shell element)

Hot Spot

2nd Detail Investigation of selected slit geometry

Sub-modeling

Effective Notch Stress

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

Hot Spot Stress

In the 1st Step,

Evaluated by H.S.S.

Weld bead → Shell Thickness

Trough Rib Side (Type "A") 0.4T, 1.0T

Transverse Rib Side (Type "B") 4mm, 8mm, 12mm

Impossible to define

H.S.S. Comparison was performed on the trough rib side

Care for creating mesh to the same size for each model

Code: ABAQUS

Element: Quad4

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 54

Feature of trough rib deformation

Double Tires (12)

LaneLaneLaneLaneLane

E D C B A

LaneB +1500

Hot Spot Stress (MPa)

Distance from Transverse Rib to Tire Center (mm)

交番応力の発生

FEMなら応力発生要因の挙動確認が容易

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 55

Various types of improvements

Various types of improved slit form was investigated in order to

- 1) decrease the swing of lower flange
- 2) re-distribute the high stress concentration

Bulk Head

Tied Lower Flg. hole for stress relaxation Rib Installation on out side

and so on

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 56

Inner Rib Type

Inner Rib restricting the swing deformation. re-distributing the stress concentration

○ Compression
○ Tension

Crack initiation point = 4 points

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 57

Effective Inner Rib

	Slit Side	Inner rib Side
	$\Delta\sigma = 58.7$	$\Delta\sigma = 120$
	$\Delta\sigma = 68.7$	$\Delta\sigma = 105.6$
	$\Delta\sigma = 63.4$	$\Delta\sigma = 55.4$

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 58

Selected Geometry

Geometrical Approach Installation of additional member

$\Delta\sigma = 155\text{MPa}$ $\Delta\sigma = 63\text{MPa}$ $\Delta\sigma = 55\text{MPa}$

Minimum Slit Type Inner Rib Type

We conducted the Effective Notch Stress Analysis for two models

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 59

Minimum Slit type with E.N.

Toe of the slit side Root

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

No. 60

Inner Rib type with E.N.

Toe of the slit side Toe of the Inner rib side

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.

