

# 有限要素法の実プロジェクトへの適用例

- 東京湾臨海大橋 -

東京湾臨海大橋の構造設計 FEMの構造設計への導入

東京工業大学

三木 千壽

TOKYO TECH 東京工業大学

# 東京港臨海大橋の構造設計 FEMの構造設計への導入

東京工業大学  
三木千壽

TOKYO TECH 東京工業大学

## 対象橋梁 イメージCG

橋長760m(支間長160m+440m+160m)  
鋼3径間連続トラス・ボックス複合橋

東京港臨海大橋 資料の諸元

橋梁延長	2.9km 海上部 1.6km
計画交通量	35,400台/日 2001年9月推計
車線数	社設4車線
設計速度	50m/h

TOKYO TECH 東京工業大学

当初設計:ゲルバートラス橋

TOKYO TECH 東京工業大学

- 全体構造の検討  
主トラスと箱桁の合成  
トラスの形状最適化  
実際はやらず。計算のみ。

TOKYO TECH 東京工業大学

### トラスと桁との関係

第1-1図 橋脚あり図 (橋脚部断面)  
第1-2図 橋脚あり図 (H桁部断面)  
第2図 橋脚部断面 (橋脚一体断面部断面)

原案  
通常のトラス橋  
中央の桁と連続

TOKYO TECH 東京工業大学

## 東京港臨海大橋


主橋梁部 海上アプローチ部  
平面図  
側面図(主橋梁部)

TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

• トラス形状最適化の試み  
最適化ソフトと構造解析ソフトとの組み合わせ

TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

### 要求性能



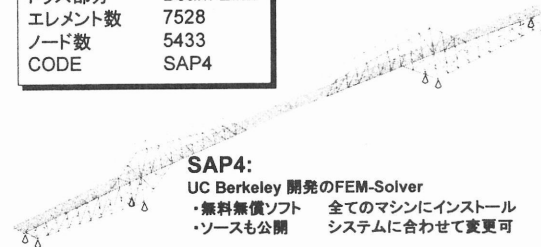
**制約条件**  
一般の設計条件 (LRFD)  
特殊な条件  
(飛行機の飛行, 船の航行, 電波灯台)

**目的関数**  
コストの縮減  
: 最小重量, LCC, 施工性, 製作性

TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

### FEMモデル

床版	Shell Elm.
トラス部分	Beam Elm.
エレメント数	7528
ノード数	5433
CODE	SAP4



**SAP4:**  
UC Berkeley 開発の FEM-Solver  
・無料無償ソフト 全てのマシンにインストール  
・ソースも公開 システムに合わせて変更可

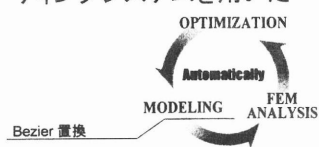
設計対象部材: 全トラス部材

TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

### 目的

FEMによる橋梁の設計  
最新のコンピュータ技術の利用

- FEMと最適化計算を用いた橋梁設計
- グリッドコンピューティングシステムを用いた効率的な計算



Bezier 置換


TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

### 計算過程

全ての過程は自動化

設計変数の入力  
FEMモデル作成  
モデルデータの分配

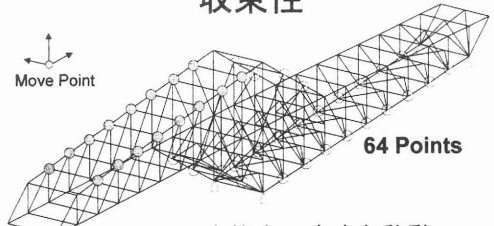
iSIGHT: 飛行機用に開発のCAE最適化支援, 統合化



計算結果のデータベース化  
収束判定  
最適化されたモデル

TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

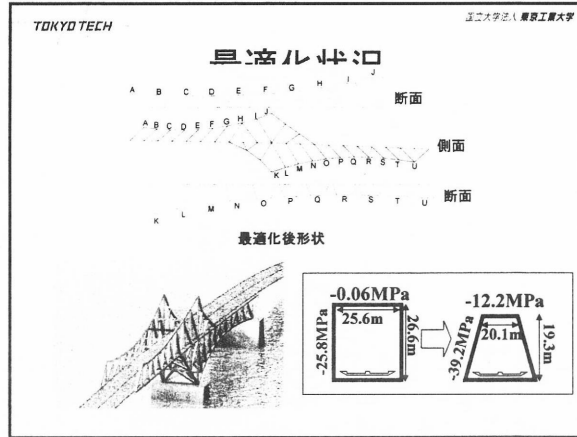
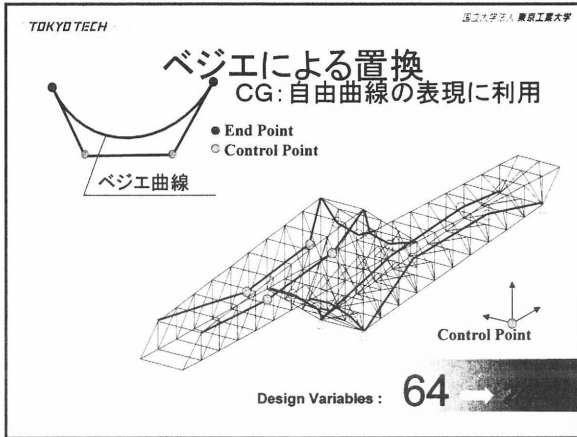
### 収束性



Move Point

64 Points

全格点の自由な移動  
↓  
高自由度のため収束性が悪い



TOKYO TECH 東京工業大学

### 結論

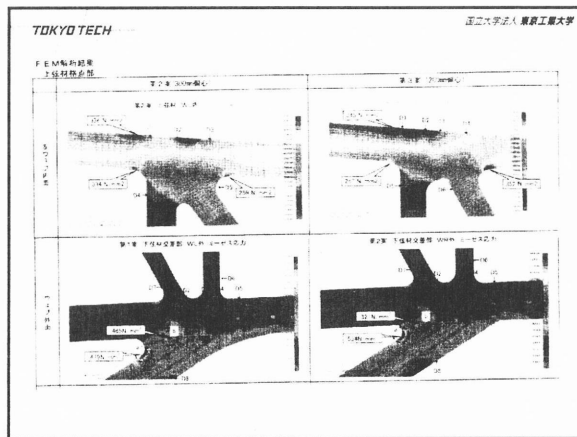
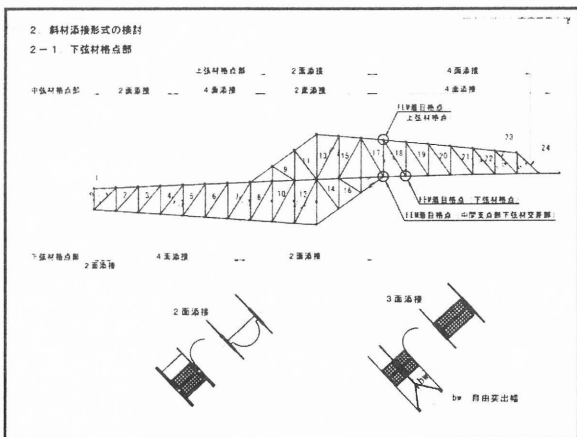
有限要素法を用いた設計手法により、鋼重を現設計より16%減少することができた。

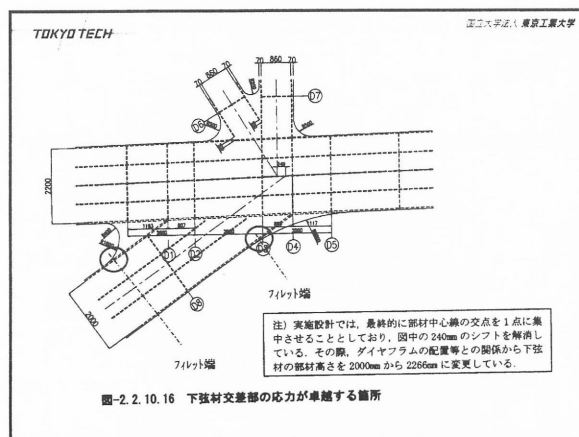
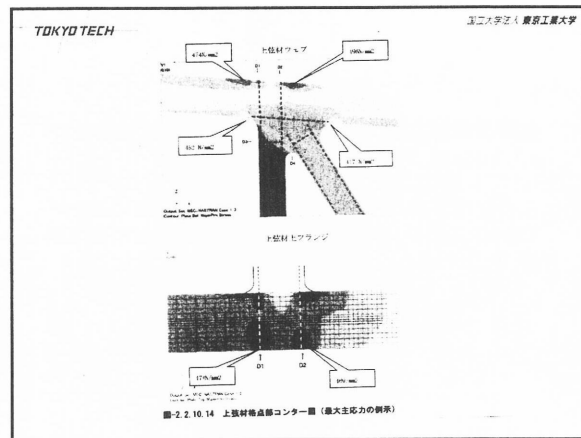
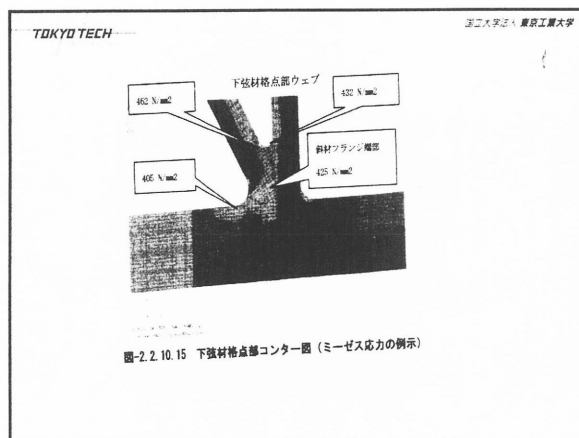
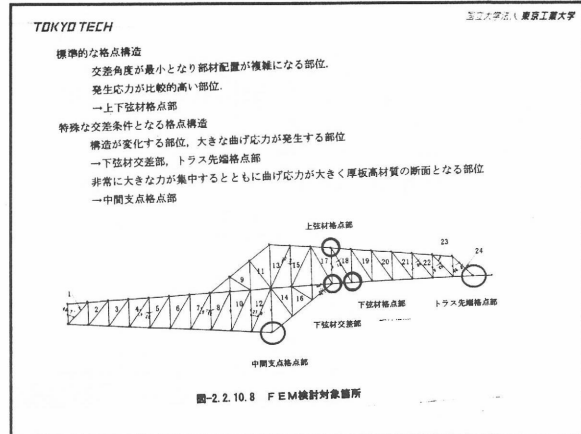
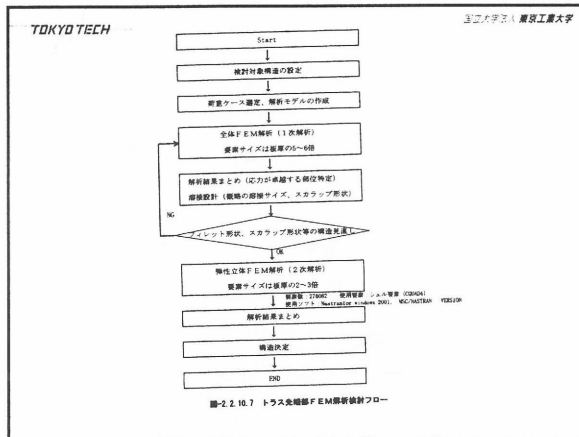
並列計算することにより、計算時間を短縮することができた。この手法はより複雑な構造に対して有効である。

TOKYO TECH 東京工業大学

- トラス格点構造の設計
  - 溶接構造のガセットー→孔引きなし。
  - 施工性を考えた内面ダイヤフラムの配置
  - 局部応力の低減

FEMで確認

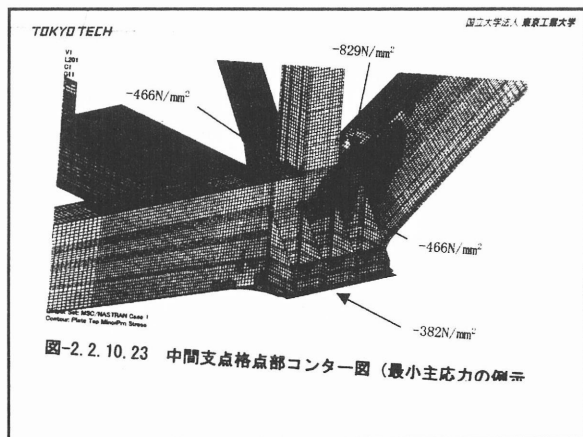
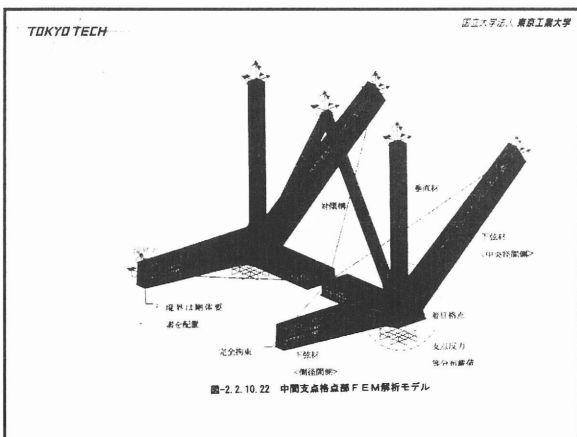
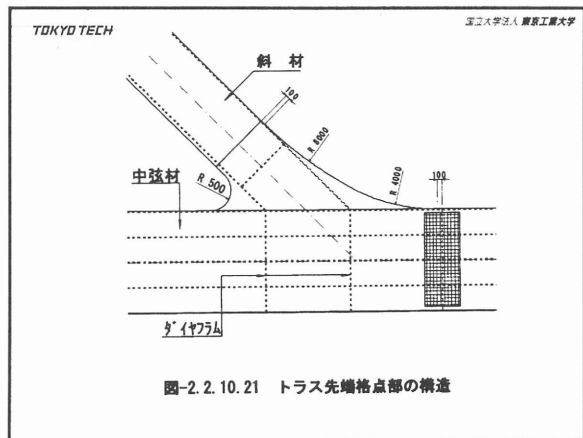
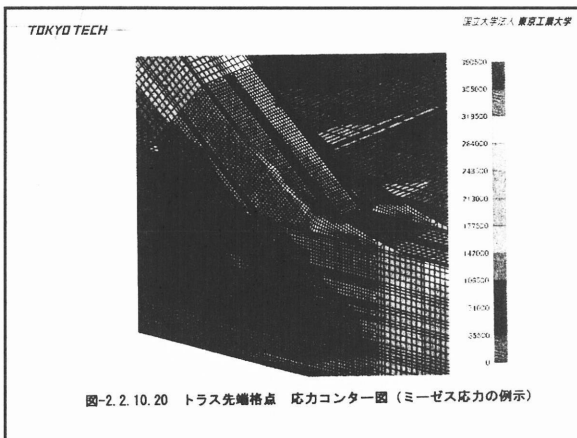
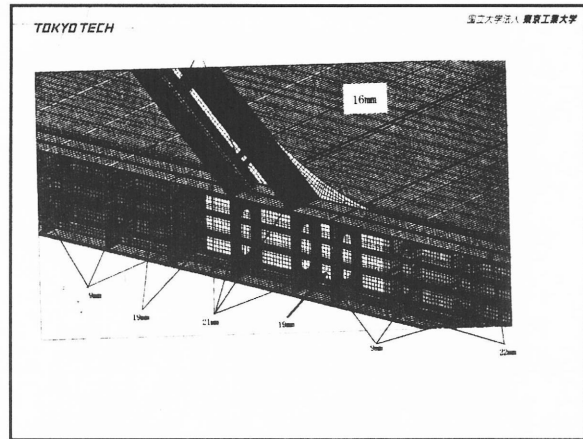
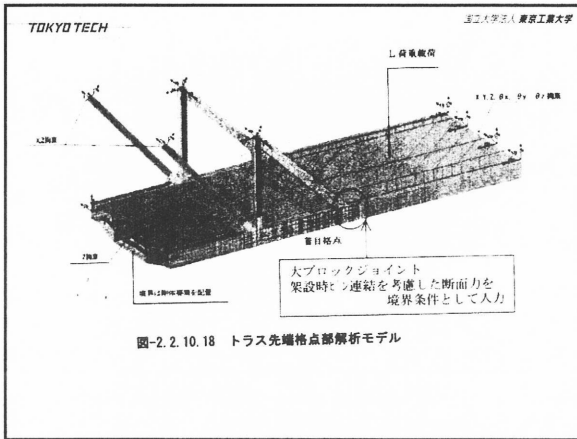


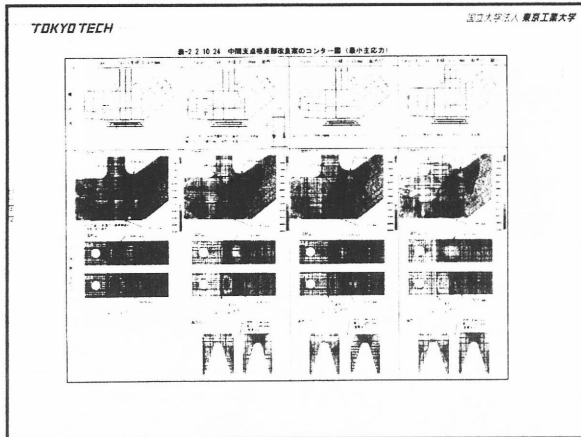


TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

以上の検討結果より、中間支点格点部の設計方針を以下のとおりとする。

- 本橋におけるフィレット半径は、R500およびR250を基本としているが、中央径間側下弦材と垂直材に挟まれたフィレットにおいては、局部応力低減のためフィレット半径を大きくし、R750とする構造とする。
- 中央径間側下弦材上フランジに採用した曲げフランジ部においては、大きな板曲げ応力が生じることから、面外リブ、縦リブにより面外変形を低減する構造とする。なお、面外リブは面外曲げが最大となるフランジ曲げ加工範囲の中央部に取り付け、曲げフランジの法線方向に設置する。
- 動的解析による断面力、支点反力、最大移動量(橋軸方向地震時)、支点移動を考慮し支点上補剛材の板厚決定を行う。
- 中央径間側下フランジ板継ぎ部に生じる局部応力に対しては、支承上巻の剛性を考慮した照査により対応する。





TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

• 箱桁中間ダイアフラムの設計

TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

### Background

Demand for weight reduction of steel bridges

Intermediate diaphragm (Int. Dia.)

Box girder

Int. Dia.  
-10~40% of steel weight of superstructure  
-No progress on the design method in this 20 years

Reconsideration of design

Possibility to reduce weight

TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

### Analysis Cases

Original case  
Spacing of Int. Dia.: 3m

Int. Dia.

Replacing Int. Dia. by 2 types of trans. Stiffeners

Strong stiffener Weak stiffener

Spacing of Int. Dia.

9m 15m 40m 120m

Int. Dia. : Trans. stiffeners

Original cases: 1  
With strong stiffeners: 4  
With weak stiffeners: 4  
=9 Cases

TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

### Stress distribution

Loading on one side of straight span

Case= Stiffeners: strong, Spacing of Int. Dia.: 40m

L-live load (on one side)

#### Longitudinal stress component

Global distribution

Bending stress + Warping stress

Distribution in a cross-section (at the center of loaded span)

Average Warping stress

Distortional warping stress (DWS): Focus of discussion

TOKYO TECH 国立大学法人 東京工業大学

### Distortional warping stress in straight girder

Loading on one side of straight span (Case with strong stiffeners)

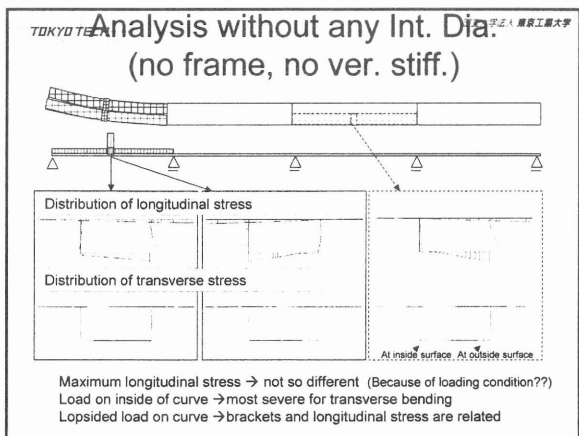
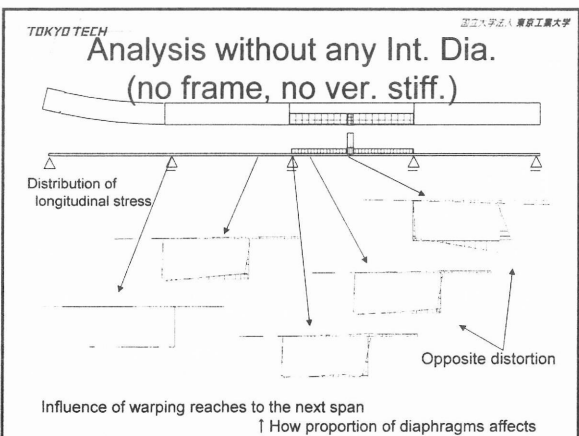
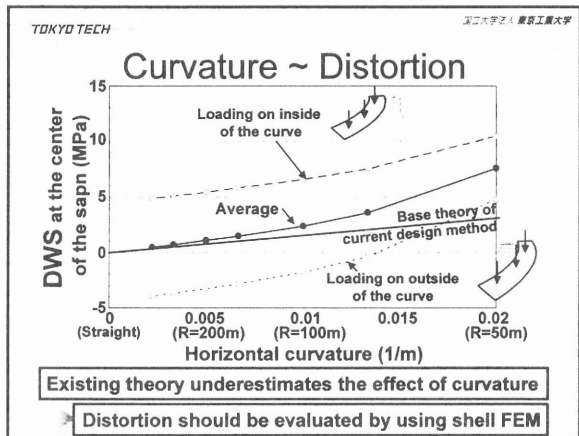
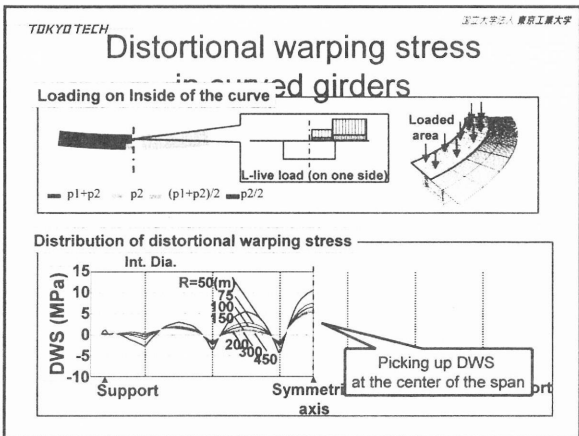
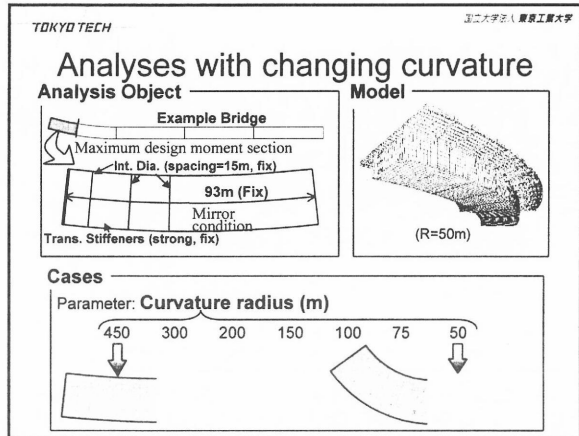
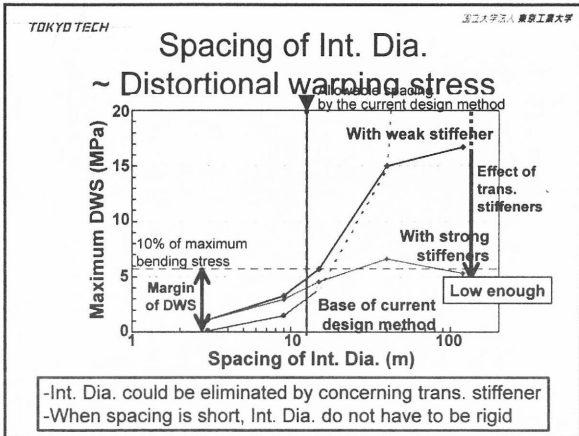
DWS (MPa)

Spacing (m)

3 9 15 40 120

Picking up the maximum DWS

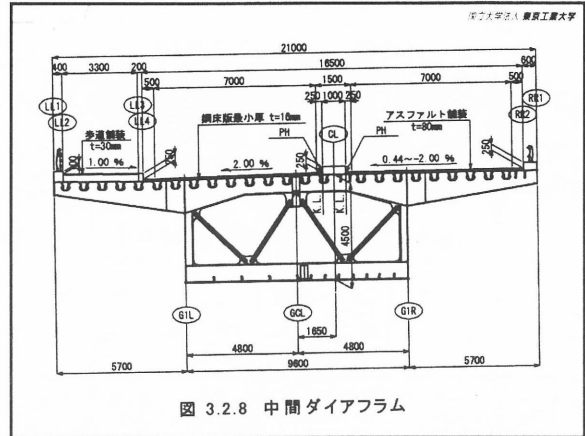
Longitudinal position





### 中間ダイアフラムの設計

- ダイアフラムの間隔は12mピッチとする。  
横リブの間隔は3m  
製作時・仮設時の形状保持が必要
- 3D FEMシェル解析でずれそり応力を照査



### 箱桁-柱連結部の構造設計

