

道路橋の疲労設計の考え方

法政大学 工学部

都市環境デザイン工学科 森 猛

【要 旨】

道路橋示方書では2002年3月の改訂版より疲労安全性照査を陽な形で行うように規定された。その具体的な方法は、日本鋼構造協会の「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」をベースとして作成された日本道路協会の「鋼道路橋の疲労設計指針」によるものとされている。ここでは、これらの指針を中心に、鋼道路橋の疲労設計・照査の基本的な流れと考え方について述べる。

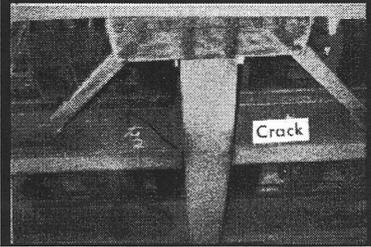
【内 容】

1. 疲労照査の基本的な流れと考え方
2. 疲労設計荷重
 - ・ 疲労設計荷重をどのように決めたのか？
 - ・ T荷重でなぜよいのか？
 - ・ 交通荷重の実態
 - ・ T荷重補正係数、同時載荷係数
 - ・ 頻度補正係数
3. 荷重から応力変動・応力範囲頻度分布への変換
 - ・ 応力変動の計算方法
 - ・ レインフロー法
 - ・ 応力範囲頻度分布
4. 疲労強度
 - ・ $\Delta\sigma$ -N関係
 - ・ 疲労強度の支配因子
 - ・ 疲労強度向上法
5. 疲労照査
 - ・ 線形累積被害則（マイナー則）
 - ・ 累積疲労損傷度

鋼構造イブニングセミナー (2004年 9月14日) 1

道路橋の疲労設計の考え方

法政大学工学部都市環境デザイン工学科
森 猛



鋼橋の架け替え理由(昭和61年7月~平成8年6月) 2

平成8年4月現在 橋長15m以上 約13万橋(鋼橋:約50%)

調査対象 49,170橋

理由	割合
上部工の損傷	3%
下部工の損傷	12%
耐荷力不足	1%
耐震対策	4%
機能上の問題	2%
改良工事	32%
その他	46%

理由	割合
上部工の損傷	4%
下部工の損傷	14%
耐荷力不足	2%
耐震対策	2%
機能上の問題	2%
改良工事	27%
その他	49%

鋼橋上部工の破損 (73件) 3

理由	割合
腐食	26%
床版の破損	69%
支承の破損・劣化	1%
疲労亀裂	0%
その他	4%

鋼道路橋の疲労損傷 4

2次応力
1980年代より多数の疲労損傷

1次応力
現在のところ疲労損傷事例なし?



溶接構造の本格的採用は1960年代以降
疲労損傷は時間の経過とともに累積する
高強度鋼の使用

疲労照査の必要性

2002年3月
日本道路協会:鋼道路橋の疲労設計指針

1993年4月
日本鋼構造協会:鋼構造物の疲労設計指針・同解説

講義の内容
・疲労照査の基本的な流れと考え方

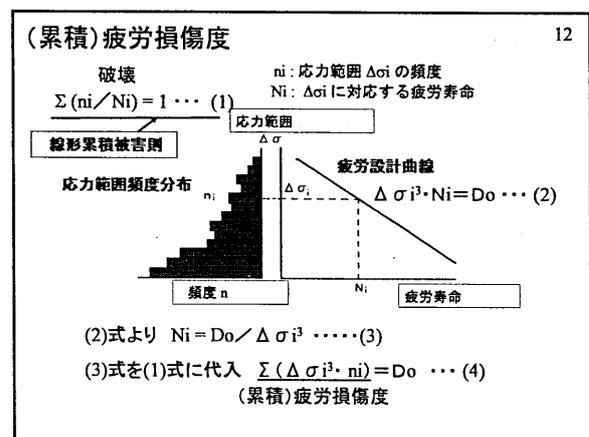
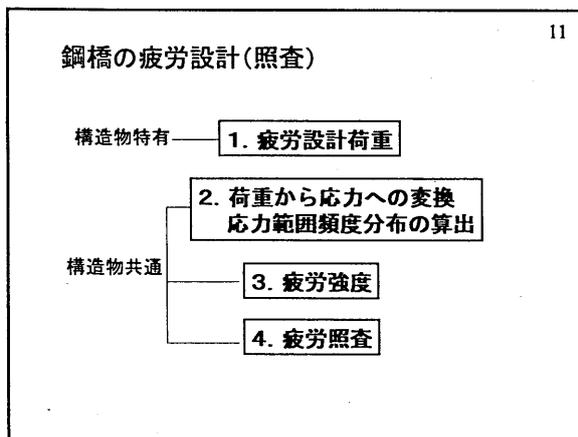
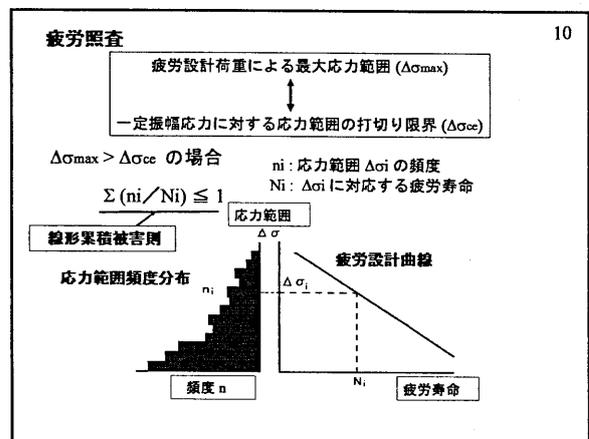
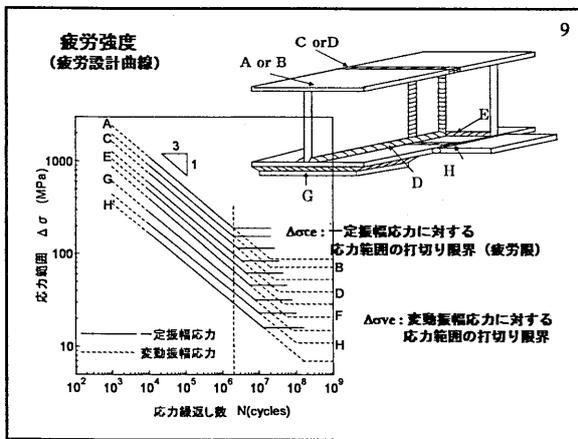
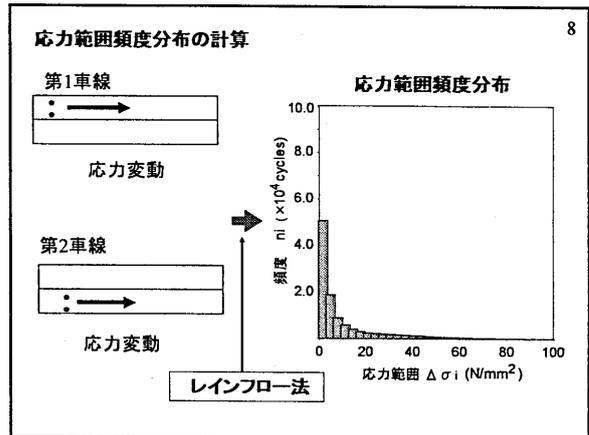
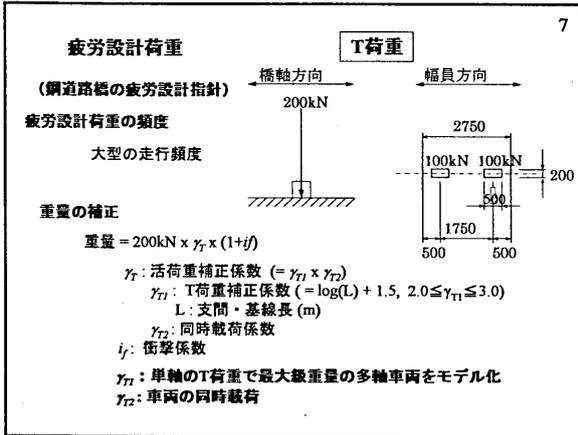
疲労設計の基本的な流れ・考え方 6

疲労設計荷重 → 応力変動の計算 → 応力範囲頻度分布

疲労抵抗 → 応力範囲 $\Delta\sigma$ と疲労寿命 N の関係 → 線形累積被害則 → 疲労照査

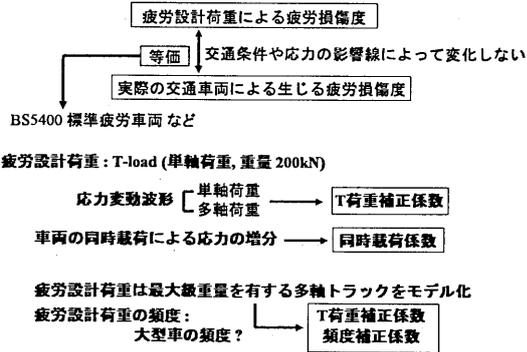
疲労設計曲線

疲労設計荷重 荷重から応力への変換 疲労強度 疲労照査



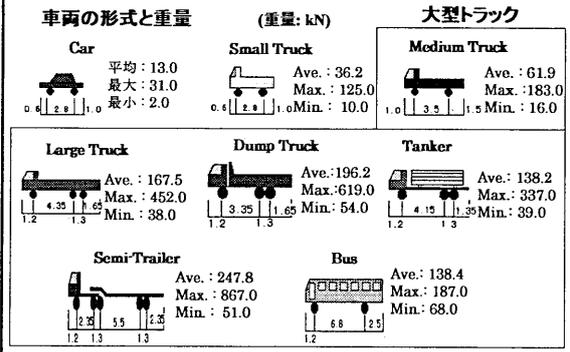
1. 疲労設計荷重の考え方

13



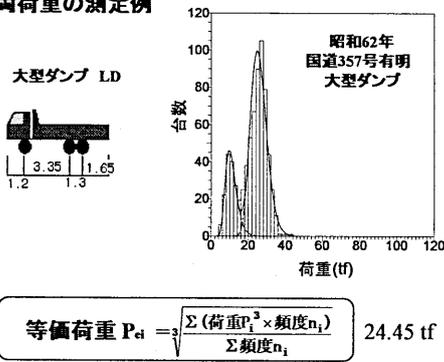
T荷重補正係数

14



車両荷重の測定例

15



荷重の特性

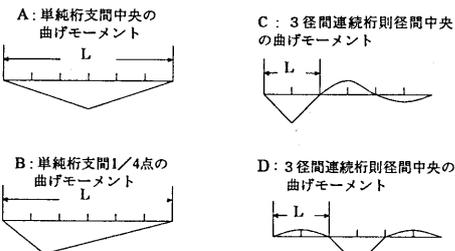
16

$$P_{ei} = \sqrt[3]{\frac{\sum (\text{荷重}_{i1}^3 \times \text{頻度}_{n1})}{\sum \text{頻度}_{n1}}}$$

	乗用車 C	小型トラック ST	中型トラック MT	大型トラック LT	大型ダンプ LD	タンクローリー TR	セミトレーラー TT	バス BS
H4有明	3.13	4.72	7.43	18.82	24.63	17.83	33.22	9.90
S62有明	3.70	4.86	7.15	15.09	24.45	13.85	26.84	9.19
S92有明	1.92	4.26	7.16	17.41	21.58	16.27	30.74	11.69
S59熊谷	1.50	4.01	6.25	18.79	26.55	22.62	28.87	10.93
H4いわき	2.80	3.71	6.80	23.26	26.83	20.29	32.92	8.28
H4千葉	2.59	3.98	7.28	21.46	31.32	14.47	44.29	10.32
H4草加	2.63	3.79	7.01	24.30	38.67	15.18	35.70	6.66
S62草加	3.32	4.59	7.42	18.42	31.72	14.47	31.52	10.93
S62八戸	3.49	5.19	7.46	17.94	28.62	17.21	23.28	10.33

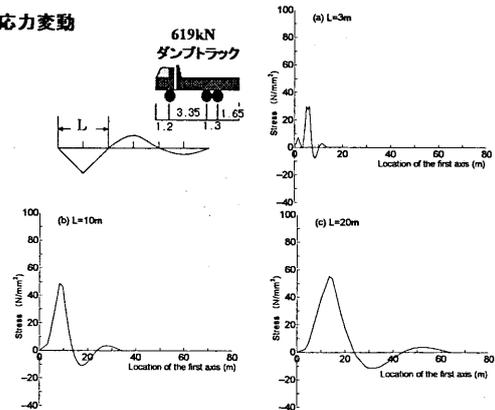
影響線の形状

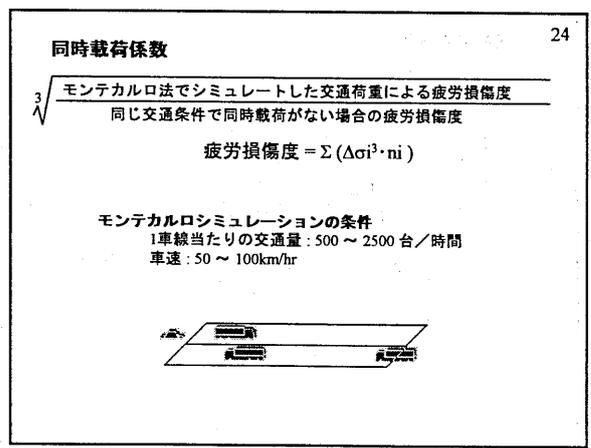
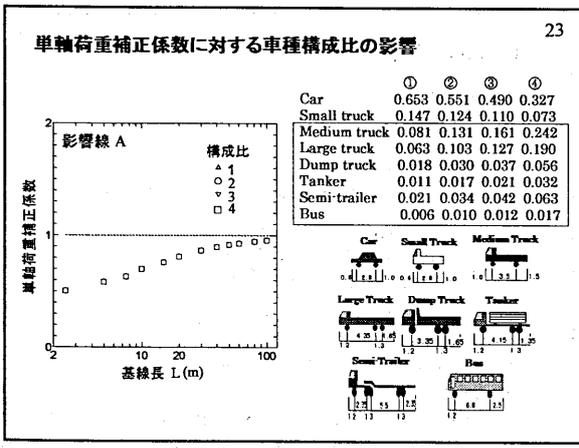
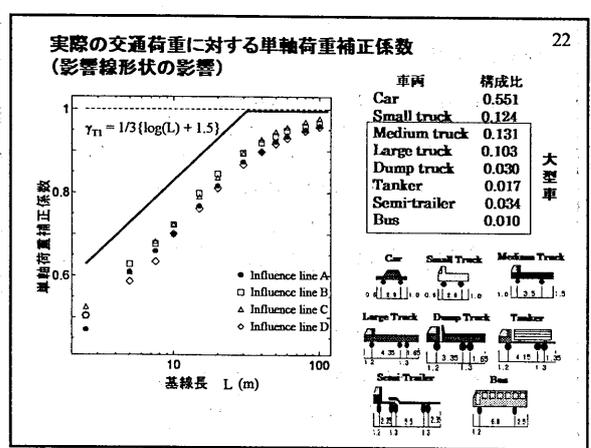
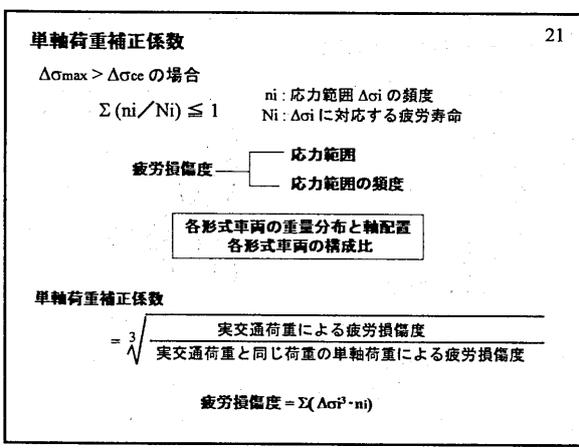
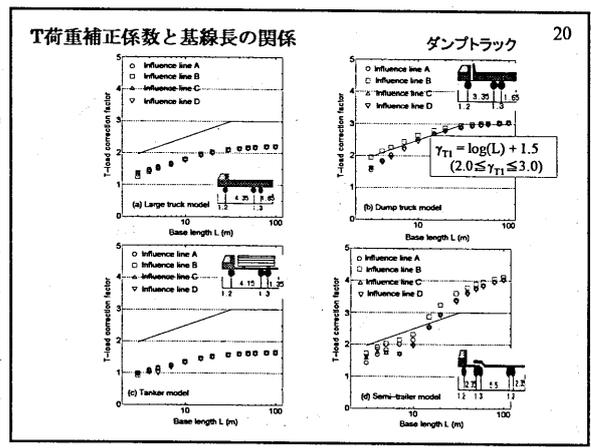
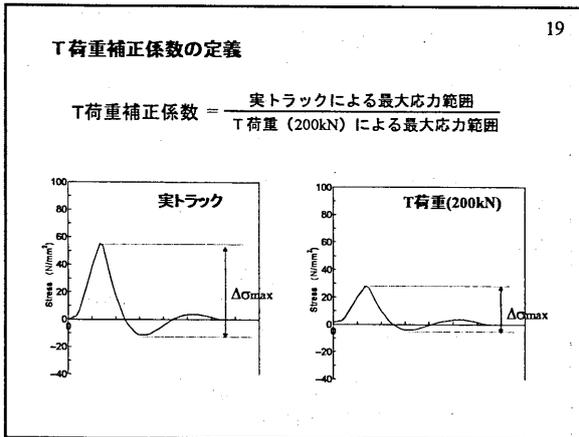
17

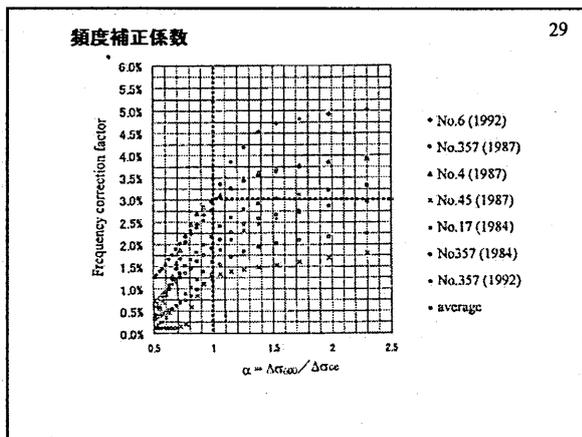
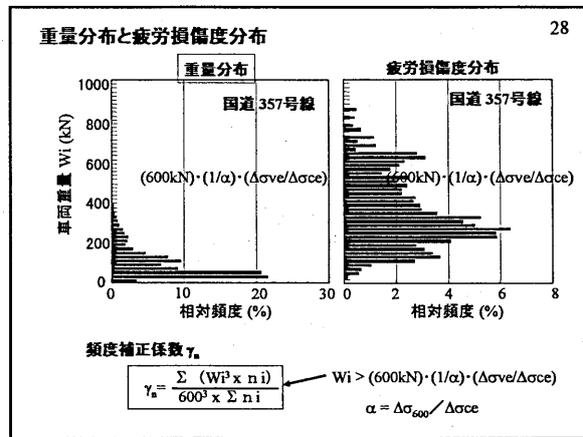
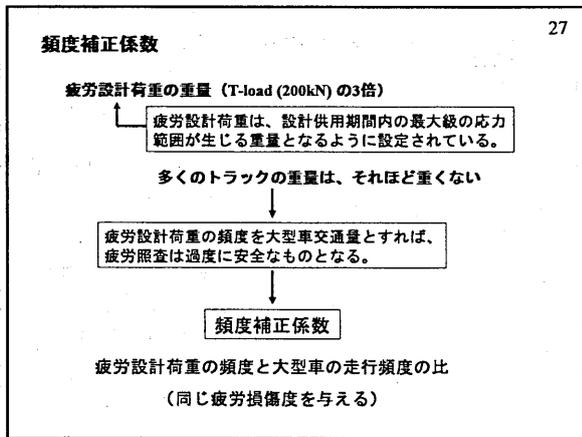
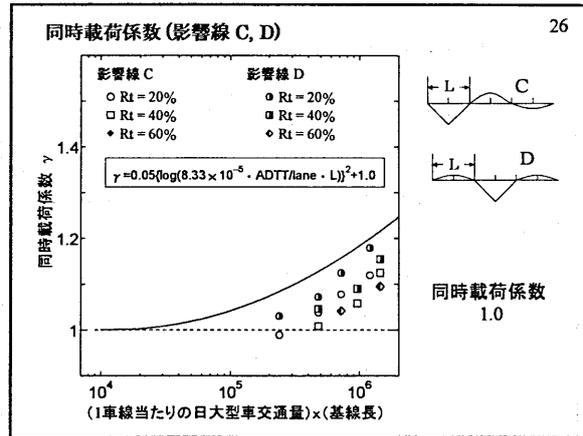
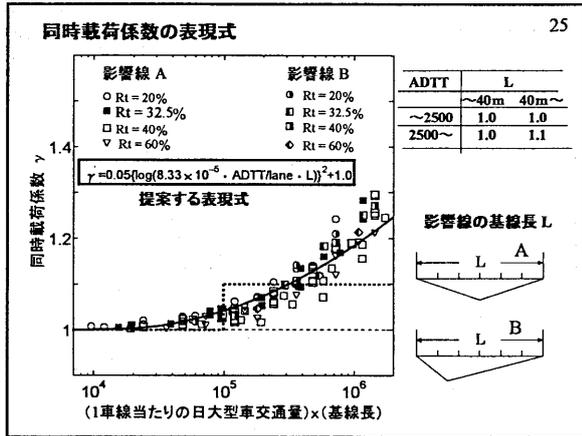


応力変動

18







疲労設計荷重 T 荷重 (単軸荷重、200kN)

30

重量の修正

重量 = 200kN × γ_T × (1 + i_T)

γ_T : 活荷重補正係数 (= $\gamma_{T1} \times \gamma_{T2}$)

γ_{T1} : T荷重補正係数 (= $\log(L) + 1.5$, $2.0 \leq \gamma_{T1} \leq 3.0$)

L: 影響線の基線長 (m)

γ_{T2} : 同時載荷係数

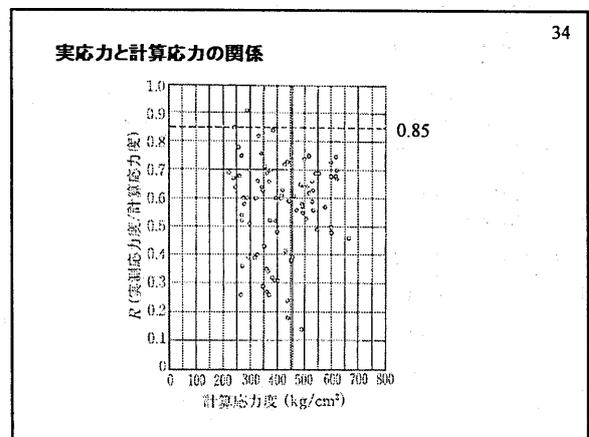
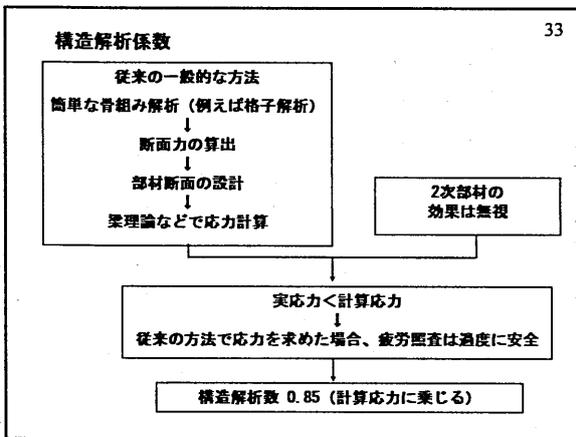
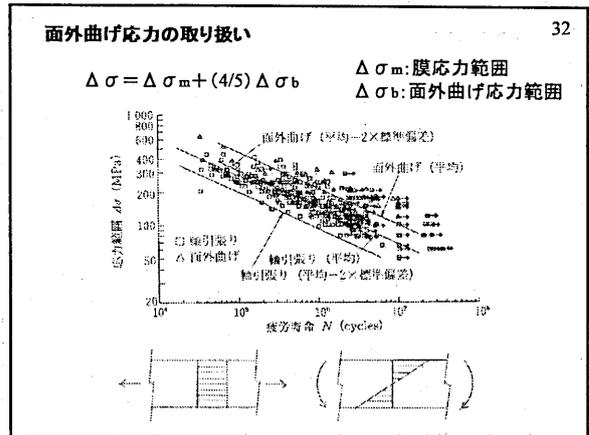
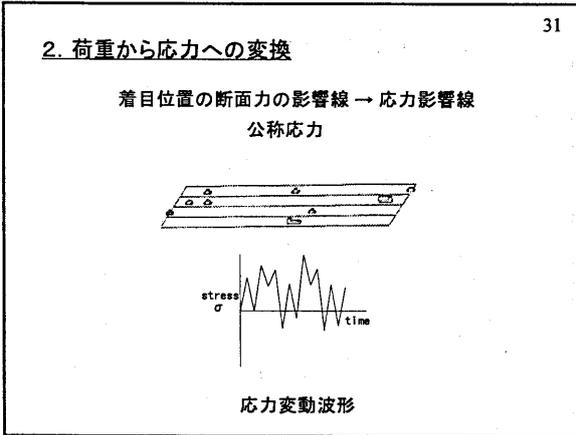
1車線当たりのADTT	基線長
~2500	~40m 40m~
	1.0 1.0
2500~	1.0 1.1

i_T : 衝撃係数

断面設計に用いられる衝撃係数の半分

頻度補正係数 = 0.03

疲労設計荷重の頻度 = 0.03 × (大型車交通量)



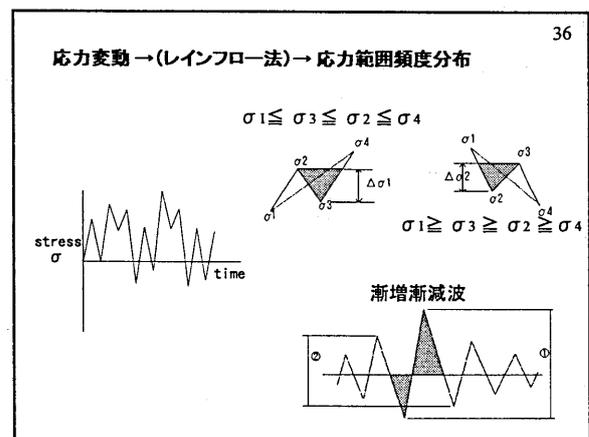
実際の応力を求めるための方法 35

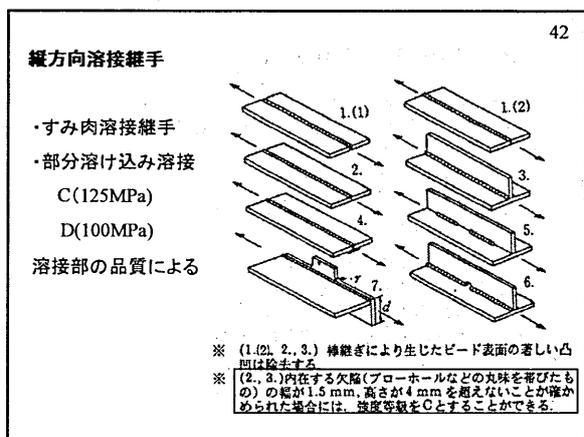
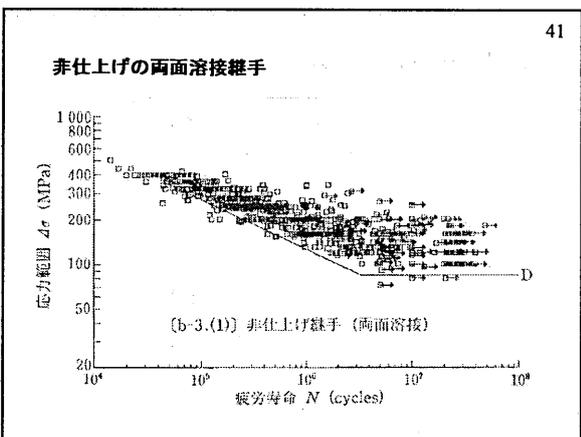
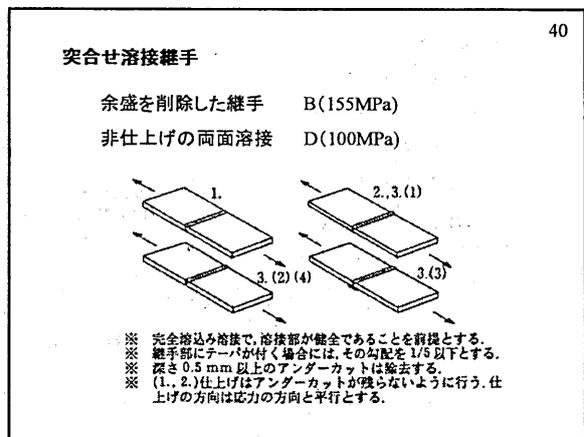
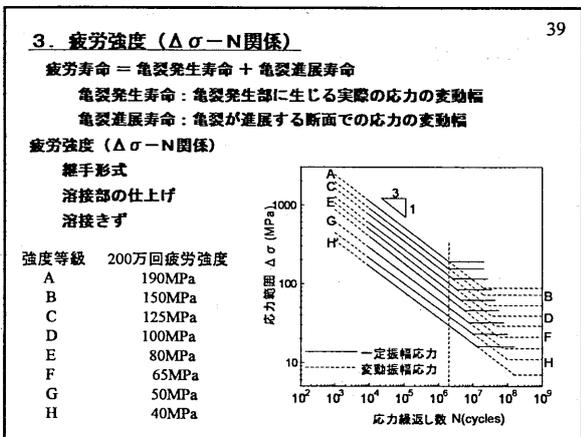
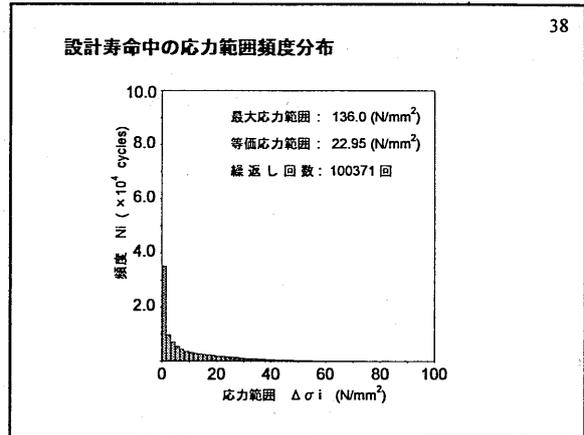
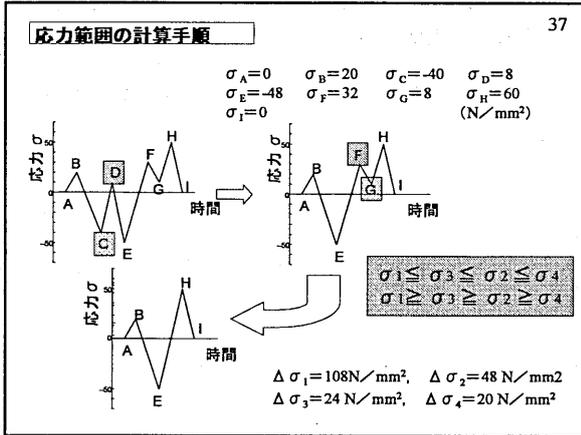
有限要素法の利用
(2次部材などを含めて橋梁全体を対象)

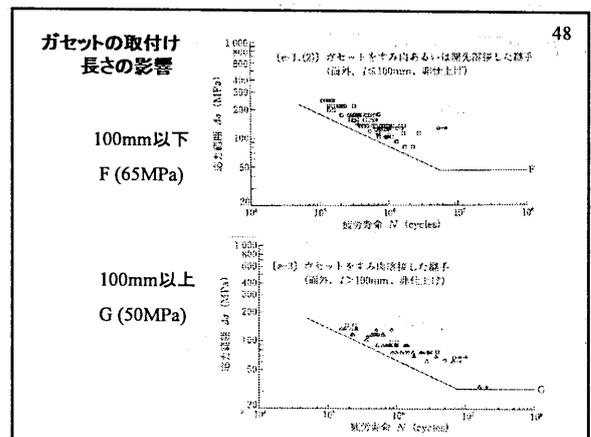
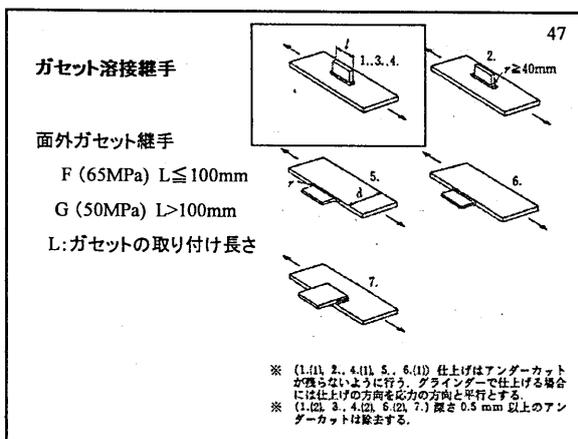
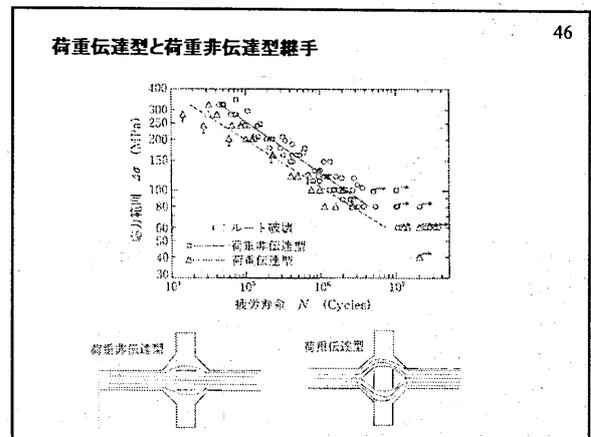
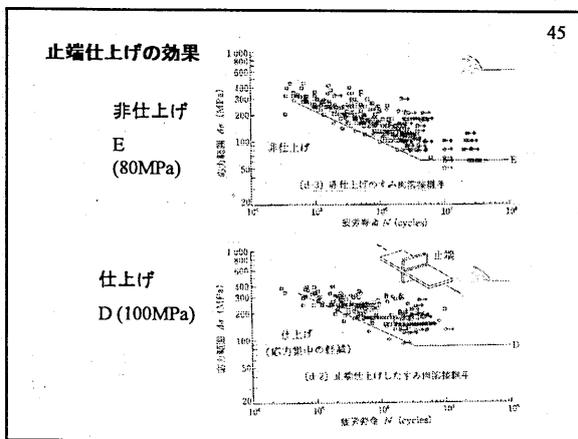
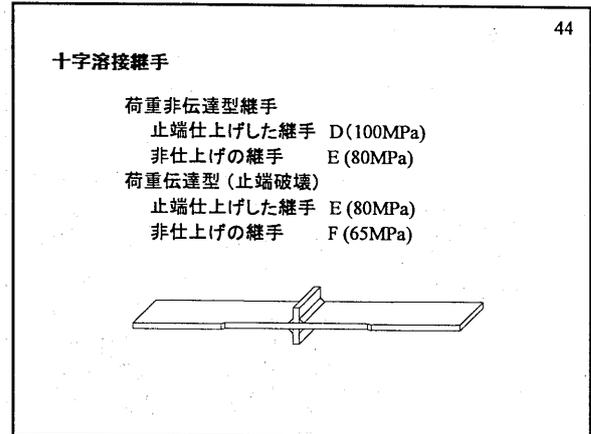
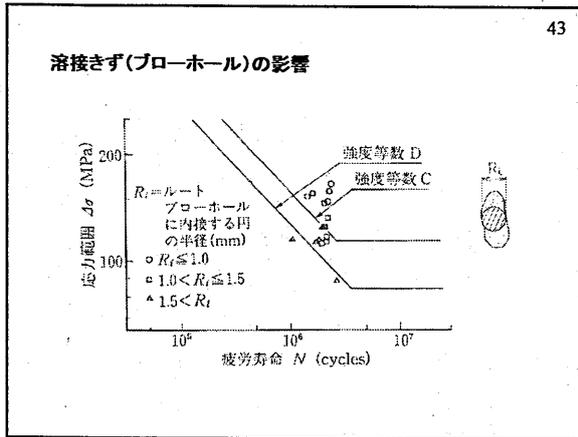
- 有限要素解析ソフトの普及
- コンピュータの大容量化、高速化、ダウンサイジング、ローコスト化

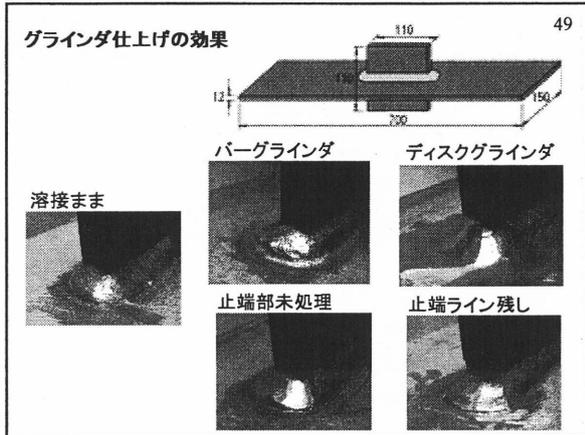
有限要素解析を用いた場合の問題点

- どの程度までモデル化するのか
- 要素の大きさや種類をどうするか
- どの部分の応力を疲労照査に用いるか





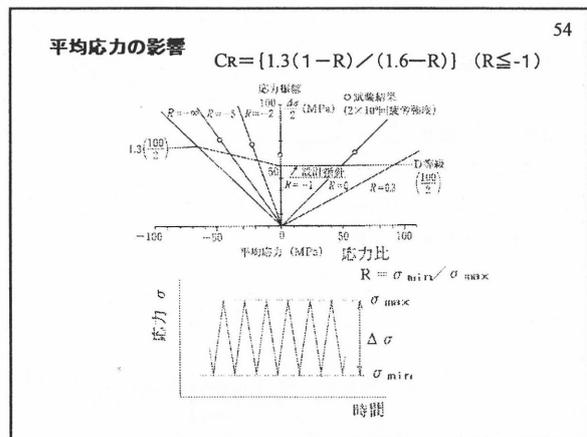
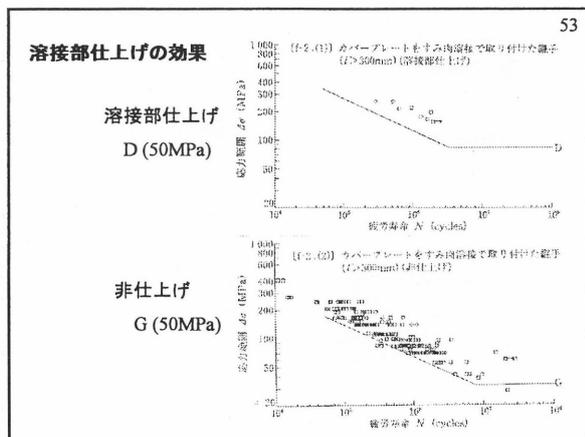
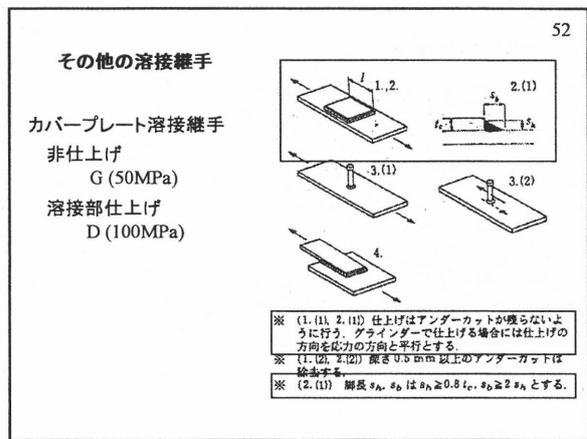
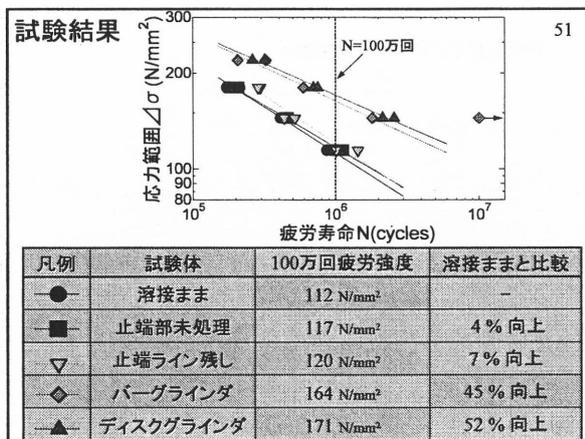


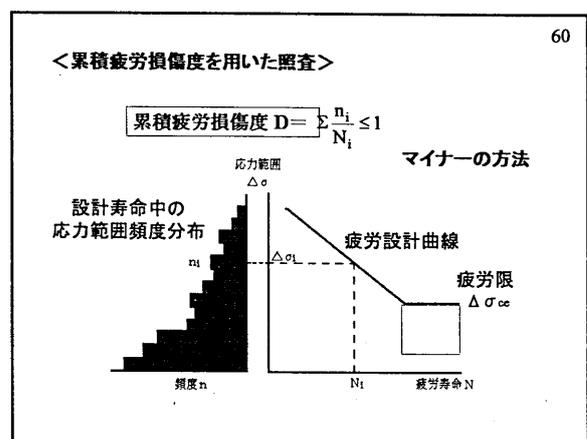
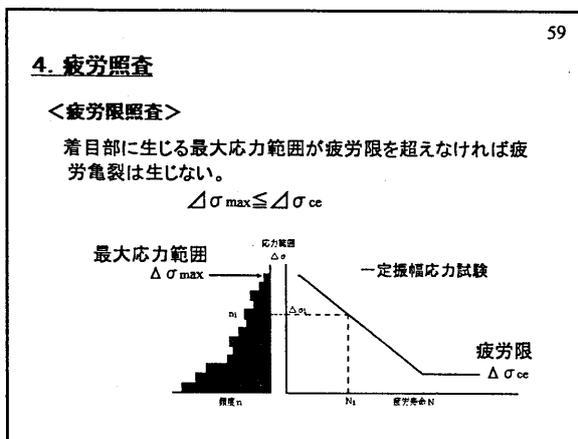
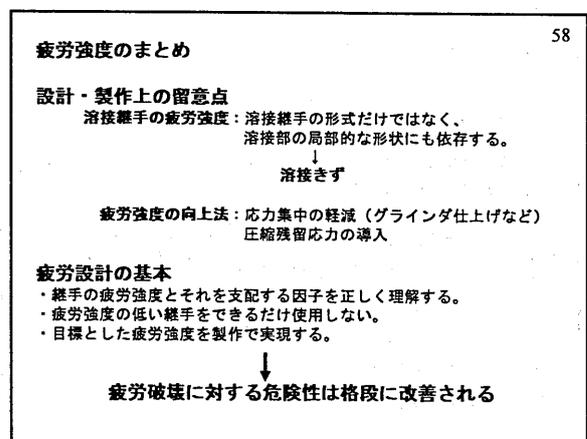
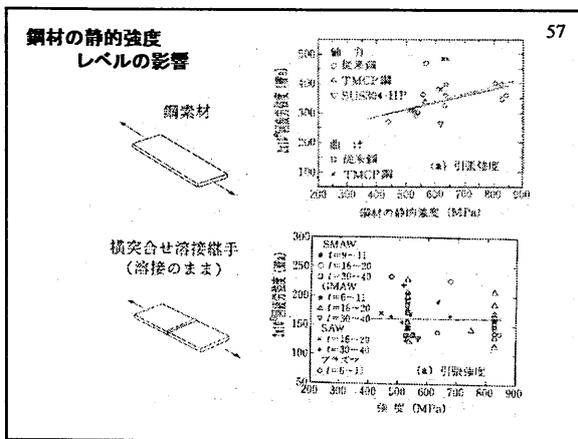
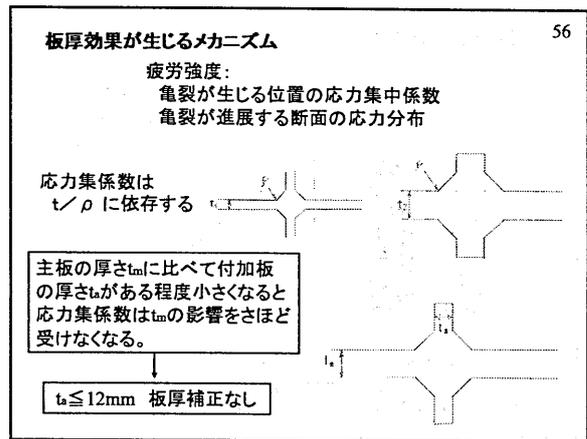
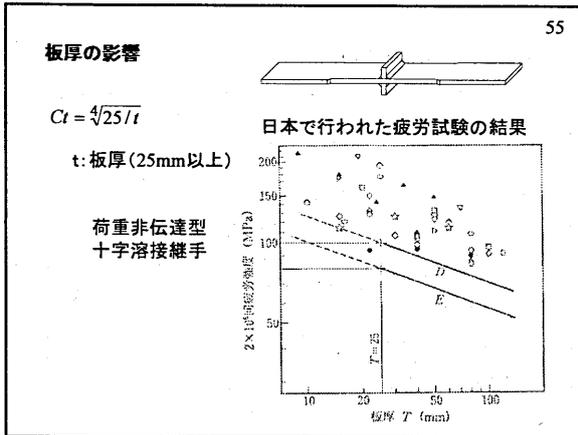


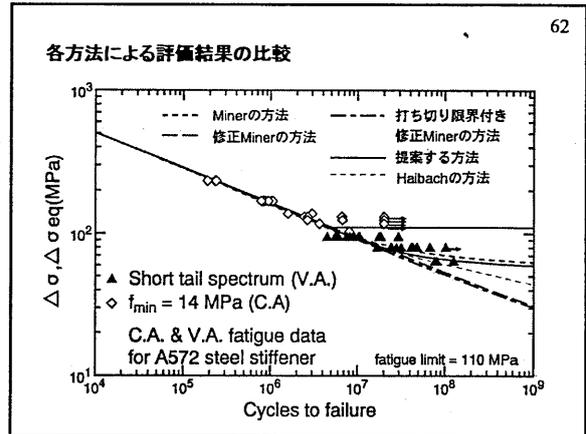
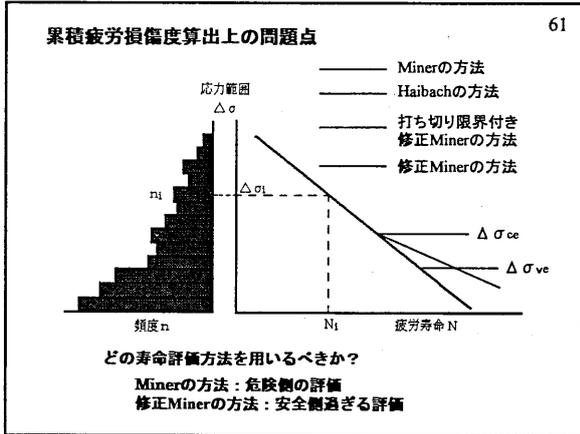
溶接部形状

50

	溶接まま	止端部未処理	止端ライン残し	バーグラインダ	ディスクグラインダ
外観					
曲率半径	0.6mm	0.5mm	0.5mm	5.7mm	8.3mm
フランク角	120°	116°	125°	121°	147°







63

変動応力のパターンは無限にある。

道路橋を対象として設計供用期間100年を考えた場合、応力繰り返し数が $10^9 \sim 10^{10}$ 回に達することもある。

従来行われている 10^7 回オーダーまでの寿命領域では、どの方法が適切か優劣はつけがたい。

変動振幅応力を受ける溶接継手の疲労強度評価
 $10^9 \sim 10^{10}$ 回 (10億~100億回) に達するような長い寿命を対象

↓

新プロジェクト

10^9 回(10億回)の疲労試験
 $10\text{Hz} \rightarrow 1\text{日}80\text{万回} \rightarrow 1\text{ヶ月}2500\text{万回} \rightarrow 1\text{年}3\text{億回} \rightarrow 4\text{年}10\text{億回}$

- 64
- ### 今後の課題と期待
- (1) 新しい疲労強度改善法の開発
 応力集中の緩和、残留応力の調整
 疲労に強い鋼材の開発
 - (2) 疲労強度改善方法・改善部の品質保証方法の確立
 - (3) 変動振幅応力を受ける溶接継手の疲労寿命評価法の確立
 - (4) 最新の知識に基づいた疲労設計法の再構築
 - (5) 疲労損傷の補修方法と補修部材の強度・寿命評価法の確
 - (6) 効率的な維持管理体制の構築
 - (7) 疲労に対する関心・知識の習得
- 安心して使えるように、橋を作り、守る**