

鋼橋の疲労対策

坂野 昌弘 (関西大学)

鋼橋の疲労対策

2012年12月11日

関西大学 坂野 昌弘

1

本日の内容

- ・鋼橋の劣化現象について
- ・鋼道路橋の維持管理の現状とこれから
- ・鋼道路橋の疲労対策について

2

参考文献

- ・引張応力に起因する鋼橋梁の変状、土木学会誌、1975.11
- ・鋼橋の疲労変状調査、土木学会論文集、1986
- ・鋼橋の疲労と破壊、建設図書、1987
- ・鋼構造物の疲労設計指針、鋼構造協会、1993(改訂中)
- ・鋼橋における劣化現象と損傷の評価、土木学会、1996
- ・鋼橋の疲労、道路協会、1997
- ・鋼道路橋の疲労設計指針、道路協会、2002
- ・阪神高速道路における鋼橋の疲労対策、阪高、2012
- ・実務者のための鋼橋疲労対策技術資料、国交省、2012

鋼橋の劣化現象

- ・建設から維持管理へ(コンクリートから人へ?)
- ・鋼橋の劣化要因は、**腐食**と**疲労**
- ・腐食は化学、多い、単純？！
- ・疲労は力学、リア、しかしシリアルス！！

4

鋼部材の劣化現象

- 長所と短所は裏表。。。
- 高強度→軽量→架設、地盤、耐震性
→死荷重<活荷重→疲労！
- 高延性→加工性、変形性能→腐食！
- 疲労と腐食は時間的に蓄積
→耐久性を支配する重要な劣化要因！

「増えることはあっても減ることはない！」

5

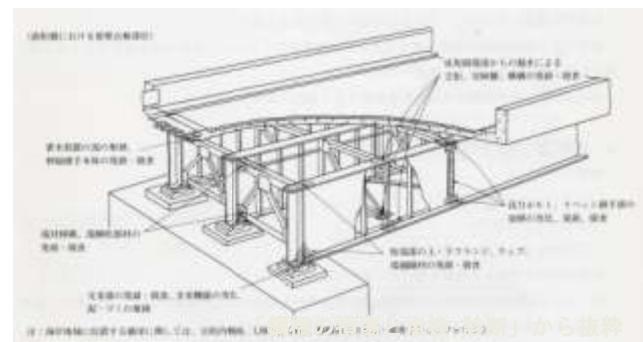
腐食

- 基本的に、鉄の酸化反応→遅い！
(板厚貫通までに数年以上。。。)
- 面的な広がり、鏽汁→目立つ！
(発見が容易)
- 鋼材の腐食≠鋼橋の腐食
→構造的要因が重要
→設計上の配慮！

6

鋼橋の腐食マップ

鋼材の腐食≠鋼橋の腐食



7

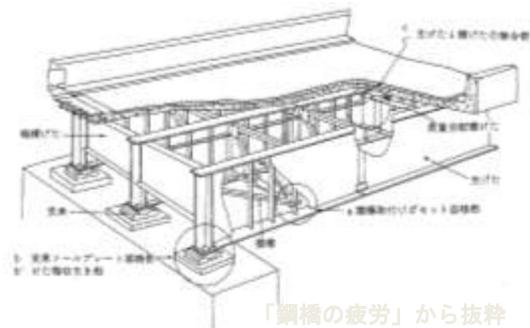
疲労

- 繰返し力や変形による亀裂の発生・進展過程
- 微小な亀裂の進展過程が寿命の大半！
- 塗膜や被膜の下→発見が困難！
- 大きな亀裂→急速に進展→脆性破壊！
- 一次応力と二次応力
- 設計上の仮定と実際の挙動の違い
(非合成、二次部材、部材の変形、、、)

「設計は仮定、メンテは現実」

8

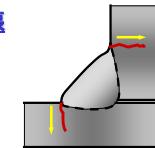
鋼橋の疲労損傷マップ



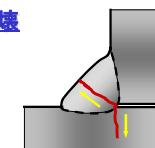
9

疲労亀裂 (すみ肉溶接の場合)

止端破壊



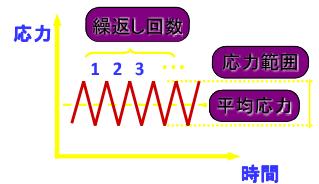
ルート破壊



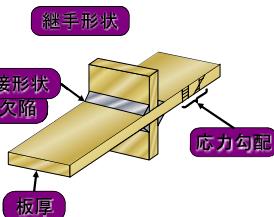
10

疲労強度に影響を及ぼす因子

外力的因子



構造的因子 (溶接継手の場合)

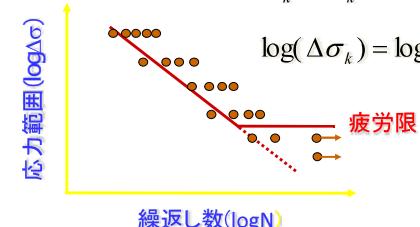


11

疲労強度曲線(S-N線)

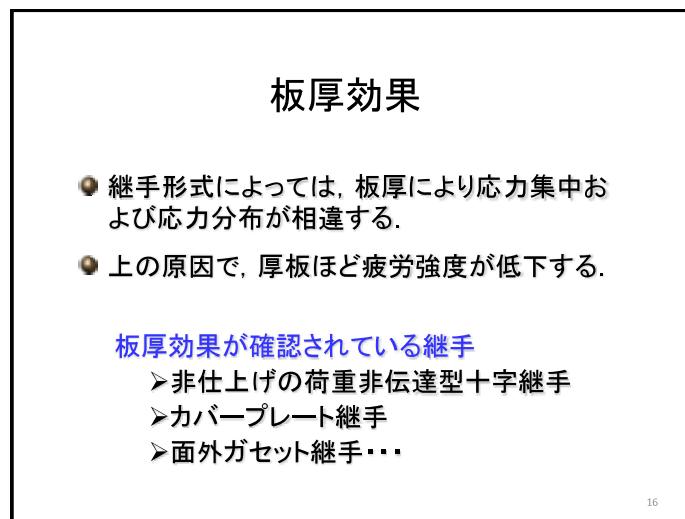
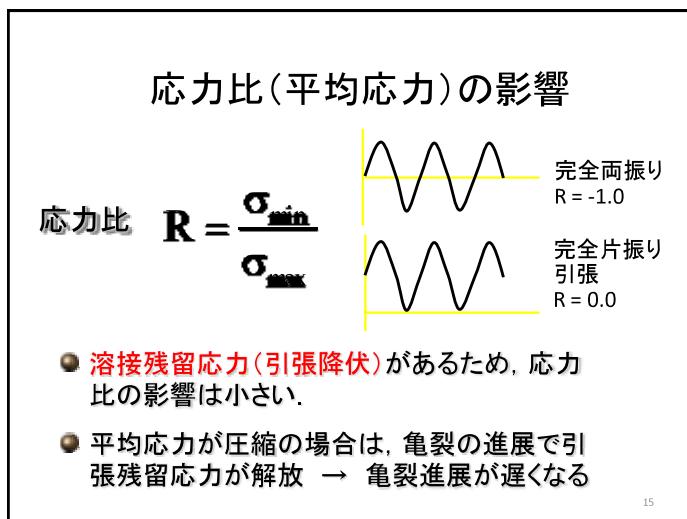
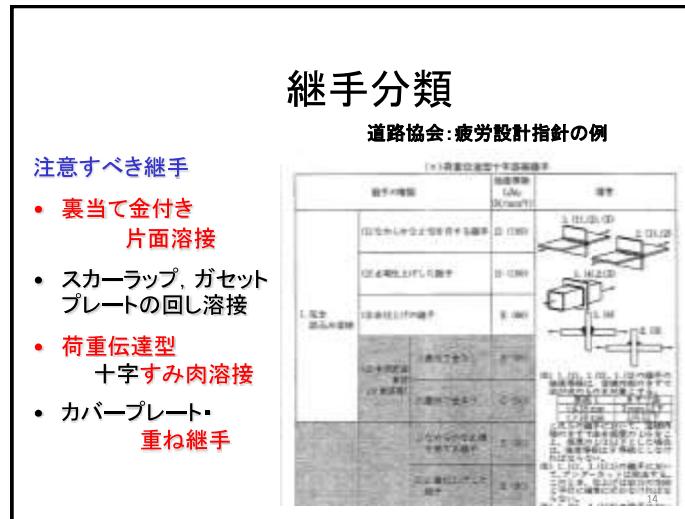
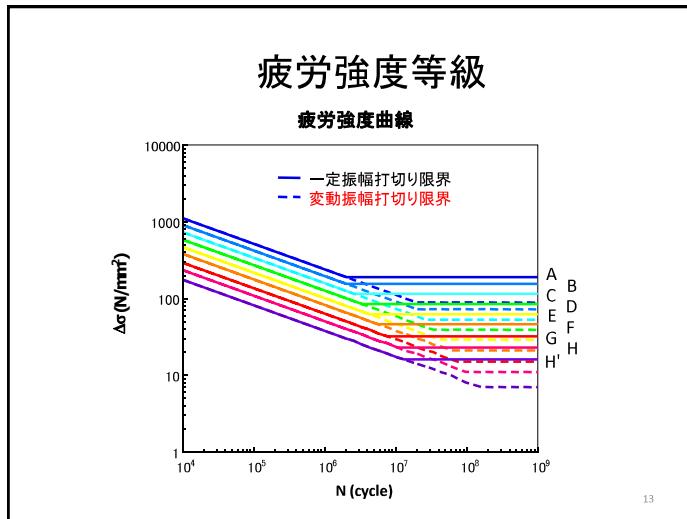
$$N_k \cdot \Delta\sigma_k^m = C$$

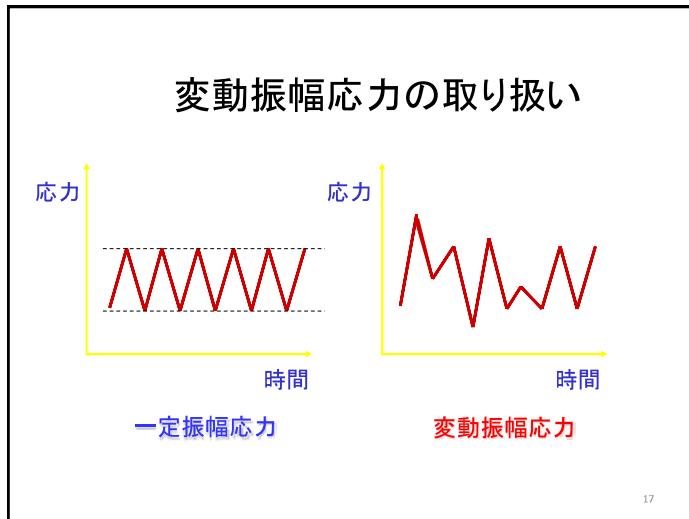
$$\log(\Delta\sigma_k) = \log C - \frac{1}{m} \log(N_k)$$



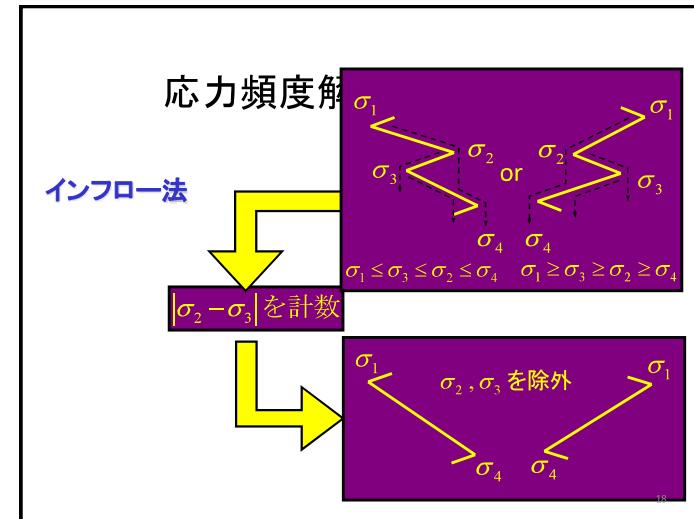
S-N 曲線

12

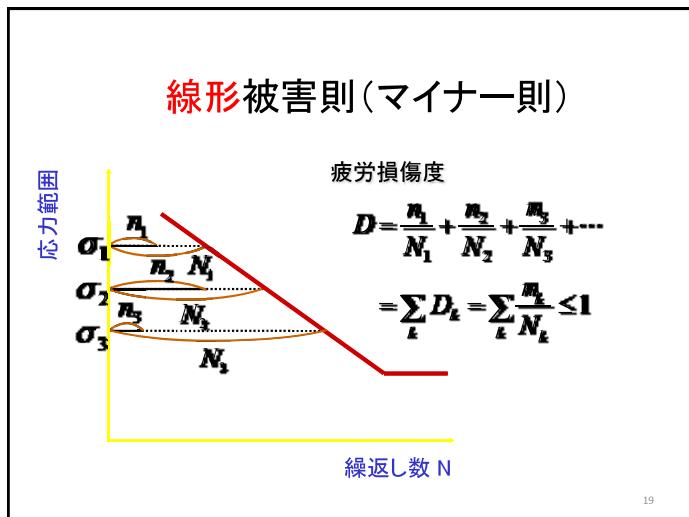




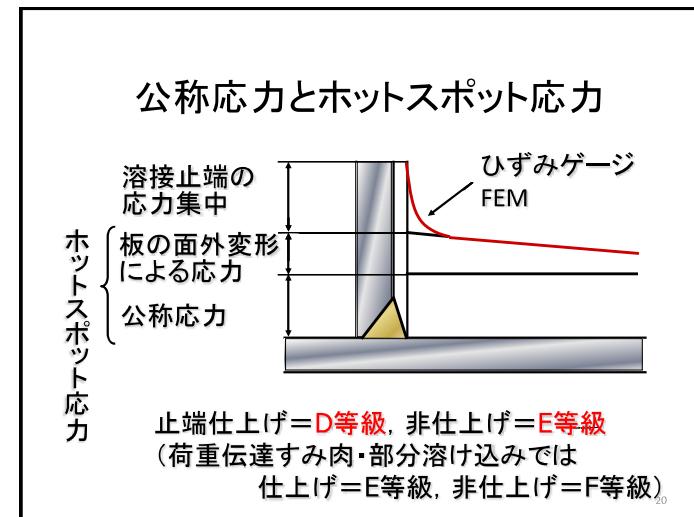
17



18



19



腐食と疲労

- 足し算=腐食部材の疲労
- 掛け算=腐食疲労(疲労限・△Kthの消失)
- 応力腐食割れ(遅れ破壊)
- 古い付き合い→長所も弱点もよく把握

「弱点さえ作らなければ長持ち！」

21

弱点の少ない橋



22

シンプルな橋



23

シンプルな橋(2)



24

疲労で落橋！？

- Point Pleasant 橋、1967(53、63年にアイバー破断)
- Mianus Riv. 橋、1983(78年にハンガーP破断)
- 大垣大橋、1991
- 山神橋、1992
- 聖水橋、1994
- Hoan 橋、2000
- JR中央線、2004
- 山添橋、2006
- 木曽川橋、ミネソタI-35W橋、本荘大橋、2007
- ？？？橋、2012?

25

・鋼製橋脚隅角部！

26

鋼床版！

27

その他諸々…

28

疲労損傷の傾向

- 二次応力で二次部材
- ↓
- 二次応力で一次部材
- ↓
- 一次応力で一次部材！(FCM！)
- ↓
- **疲労照査！**

29

道路橋示方書改訂(平成14年版)

- 「疲労の影響を考慮しなくてもよい」
↓
「疲労の影響を考慮するものとする」

180度、正反対の方針の転換！

(それ以前の橋は？？？)

30

疲労設計導入後…

- 100年間の耐用保証→ LCC評価で有利！
構造のシンプル化 → 製作費も減少！
↓
新設はOK！

既設橋は？ → 既存不適格！！

「危ない橋」だらけ？？

31

日本の橋梁群の特徴

- 1960年代から70年代にかけての高度成長期に集中して建設 【団塊の世代】
- 現在はまだ30～40代、いずれ一斉に高齢化し、架け替えや補修・補強等で管理者の負担が増大
- 40代でも落橋！(ミネラ、木曽川、山添、PP)
30代：愛岐、20代：Hoan、Mianus、
10代：聖水

⇒既設橋梁の経年劣化対策が重要！！

32

21世紀

二つの高齢化(≠老朽化)
人間と社会基盤

団塊の世代！

人:1940's後半
橋:1960's～70's

33

持続可能な発展

「使い捨て」文化
↓
「良いものを、長く、大事に使う」

→ 「良いもの」とは?
見分ける目、採用する目
品確法(2005)！
品確技術者(2009)！

34

説明責任

情報公開

安全性？ ← 厳しい世間の目！
「隠す」

構造物の寿命

何年もつ？
永久に大丈夫？ ← 保証できる？

「危ない橋」の増加？

35

「建設」から「維持管理」へ

- 「荒廃するアメリカ」の二の舞？？
- 新設と維持管理に応分の予算配分
(国会予算委員会'06での大臣答弁)
⇒維持管理業務の増大、予算要求
→負担？ ビジネスチャンス？
(ニーズは増大！)

36

道路橋の予防保全に向けた提言 (2008年5月 国交省道路局)

【進行する高齢化】

- ・1960年代以降大量に建設された道路橋群→2015年には6万橋が40歳以上！

【要求性能の高度化】

- ・物流効率化→車両の大型化
→設計荷重引上げへの対応

37

道路橋保全の現状(1)

- ・2006年10月：鋼桁橋主桁に1mの亀裂発見！
疲労設計導入前の橋の耐久性？？
- ・2007年6月、8月：鋼トラス橋の斜材が破断！
数か月の通行規制！
- ・2007年8月：米国ミネソタ州の鋼トラス橋の崩壊！
多数の死傷者！

38

道路橋保全の現状(2)

「見ない」

- ・市町村道の約9割が未点検！

「見過ごし」

- ・点検済みの橋で主部材破断！

「先送り」

- ・補修補強対策が遅れがち。。。
(予算がない？？)

39

重大事故につながる危険な橋の増大

- ・崩落事故等に至るような重大な損傷
→人命の危険
- ・損傷や耐荷力不足による通行規制
→社会的損失
- ・大規模な補修や架替えの発生
→膨大な費用

40

早期発見・早期対策の 予防保全システム

[目的]

- ・国民の安全安心の確保
- ・ネットワークの信頼性確保
- ・ライフサイクルコストの最小化
- ・構造物の長寿命化

41

5つの方策

1. 点検の制度化～[全ての道路橋で点検実施](#)
2. 点検および診断の信頼性確保
 - ～[技術基準、資格制度、人材育成](#)
3. 技術開発の推進～[高信頼性、低成本の技術](#)
4. 技術拠点の整備
 - ～[損傷事例の集積と発信、高度な専門技術者の育成](#)
5. データベースの構築と活用
 - ～[効率的な維持管理とマネジメントサイクルの確立](#)

42

その後の動き

1. 長寿命化修繕計画策定事業費補助制度
(点検、事後保全、予防保全、計画的な架け替え)
[「見ない」の解消 →「見逃し」?質?](#)
2. 技術者資格制度等 →[誰が判断?](#)
(土木鋼構造診断士・診断士補等)
3. 高度な専門性を有する技術拠点
(土研CAESAR、各ブロック・地整の橋梁ドクター・道路保全企画官・道路構造保全官)
4. 鋼橋疲労対策技術検討会(道路局)2009～2012
[「実務者のための鋼橋疲労対策技術資料\(2012.3\)」](#)

43

実務者のための 鋼橋疲労対策技術資料(2012.3)

- 2002年以前の道路橋は疲労設計なし
→疲労損傷の増加！
- 疲労は難しい
→高度な技術力が必要！

≒ 医療行為！？

44

実務者のための 鋼橋疲労対策技術資料(2)

～道路管理者、実務者のための疲労対策の手引き～

- 点検、診断、詳細調査、補修補強の流れ
→ 誰が判断？(管理責任！)
- 点検者、診断者、道路管理者の留意事項
→ 疲労は専門医に！
- 点検、詳細調査、補修補強対策の事例集
→ 診断、対策に対する事後評価！

45

点検に関する留意点

- 点検者: もれなく損傷を発見(見逃さない！)
事前準備、損傷の可能性、危険な亀裂
- 管理者: 点検計画、情報の伝達
塗替え、補修工事、損傷・補修記録

46

診断に関する留意点

- 診断者: 設計、製作、施工に関する高度な知識
& 点検・診断の実務経験
緊急対応や詳細調査、補修補強の必要性
- 管理者: 判定に対する最終確認(管理責任)
専門機関からの技術指導、情報共有体制

47

詳細調査に関する留意点

- 調査技術者: 高度な知識と実務経験
- 管理者: 速やかに実施できる体制

48

補修補強に関する留意点

- ・補修補強技術者：補修補強方法の選定
施工性、品質管理
- ・管理者：優先順位、予防保全
照査、事後評価

49

阪高の疲労対策の改訂について

「阪神高速道路における鋼橋の疲労対策」

【三訂版】2012年3月

50

三訂版に寄せて

- ・維持管理と新設設計の教科書
- ・新種の事例
- ・新たな知見（陳腐化、誤り、、）
- ・改訂チーム？

51

三訂版に寄せて(2)

- ・疲労設計導入前後
- ・「既存不適格橋梁」～危ない橋だらけ？？
- ・地震は天災？ 疲労は人災
- ・遅れて、しかし必ず襲来する大災害
- ・右肩上がり

52

三訂版に寄せて(3)

- 既設橋と新設橋
- 予見可能性

Good Maintenance
starts with
Good Design !

53

あとがき

- 事後保全
- 予防保全 ~メリハリ
FCM
疲労照査
応力実測
....

54

鋼橋(鋼構造)の特長

- 軽量 → 耐震性高い、架設が楽
 - 工期が短い → 改良、架替に有利
 - 高耐久性 → LCCで有利！
再利用(リユース)可能！
- 補修・補強が容易！(比較的)

55

最上川橋梁(1886～)



56