

鋼橋の損傷メカニズムについて

山田 健太郎

名古屋大学 名誉教授

中日本ハイウェイエンジニアリング名古屋(株) 顧問

鋼橋の損傷メカニズムについて — 腐食と疲労 —



名古屋大学 名誉教授

山田健太郎

(中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 顧問)

目次

1. 腐食のメカニズムと防食

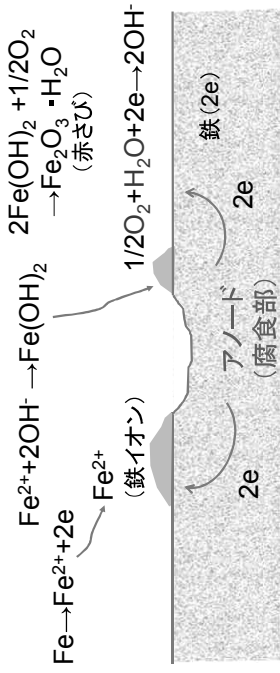
鋼は酸化鉄に戻りたがる それを防食
塗装、塗替え塗装は素地調整が命
なぜ、日本の鋼橋で腐食が問題になるのか？

2. 疲労損傷のメカニズムと対策

疲労の基礎
設計と作用応力範囲の関連、実働荷重に注意
設計計算書を用いた簡便な疲労照査について

3. まとめ

鉄の腐食には、水と酸素が必要



電気化学反応 → 電気防食

水 (雨水、海水) : 塩分は水を吸収

酸素 (溶存酸素) : 水も海水も同じ

遮断 → 被覆防食

代表的な鋼道路橋の防食法とメカニズム

一般塗装 : 塗膜による環境遮断
重防食塗装 : 塗膜による環境遮断
+ ジンクリッチペイントによる防食

耐候性鋼材 : 緻密なさび層による腐食速度の低下

溶融亜鉛めっき : 亜鉛皮膜による環境遮断

+ 亜鉛による防食 犠牲防食

金属溶射 : 溶射皮膜による環境遮断

+ 溶射金属による防食 犠牲防食

鋼道路橋防食便覧

塗装：現場塗装から全工場塗装へ

1960年頃まで

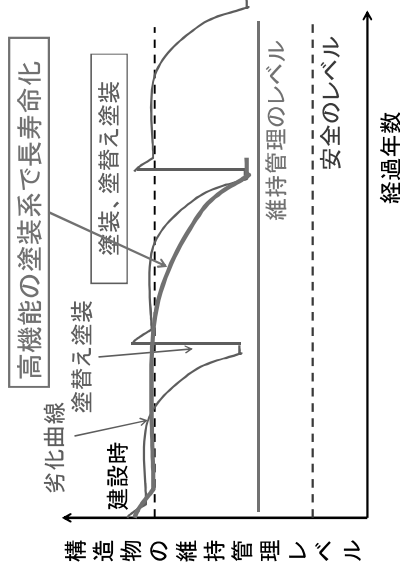
黒皮(ミルスケール)の上から塗装
その後、工場でプラスト、下塗り、中塗り
現場で上塗り

全工場塗装 → 塗装の耐久性の向上
本四架橋、海上橋、長大スパン、など
→ 新設橋の塗装環境は良くなった

課題：塗り替え塗装のレベル向上

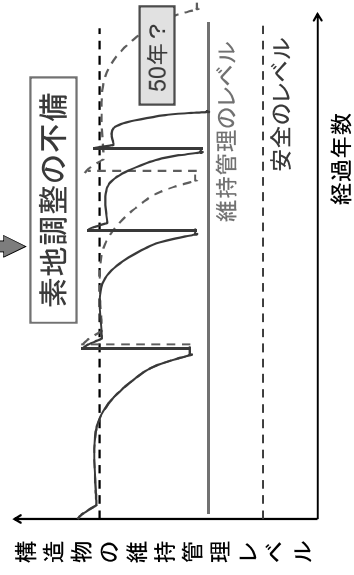
塗替え塗装は、鋼橋技術者の盲点だったのでは？

「鋼橋は塗替え塗装すれば新品になる」



「鋼橋は塗替え塗装すれば新品になる」

塗替え塗装の間隔がだんだん短くなる？



塗替え塗装は、鋼橋技術者の盲点だったのでは？

なぜ日本の塗替え塗装が問題か？

1. (塗替え塗装)設計の問題か ← 基準
 - 素地調整の問題
 - 長らく3種ケレンが使われた問題
2. 材料の問題か？
 - 素地調整の材料(サンド系→スチール系)
 - 効率的な素地調整を行う
3. 産業廃棄物を減らす技術が必要
 - 鉛、PCB、クロムの問題
 - 産廃を減らすことは社会的な要請

塗り替え塗装の素地調整の比較

欧米

1. 大型のブラスト機器、効
率化、良い足場
2. 負圧による粉じんの飛
散防止、環境に配慮
3. インспекター常駐
すぐに検査
4. タッチアップなど、
こまめな手入れ

日本

1. 3種ケレンが主だった
ブラスト機器(発展途上)
2. 旧来の方法、飛散防止
足場、覆い、負圧?
3. 監督員が検査?
お任せ?
4. 腐食対策は先送り?
塗り替え塗装の認識?

塗り替え塗装は、3種ケレンが常識と言われたら要注意



NY Manhattann橋(1909年)の塗り替え塗装

次の世紀(100年)へつなぐ Toward the next century





旧塗膜の除去と塗装仕様 Gerge Washington橋

鋼の種類: 構造用鋼、鋼管、電源ボックス、パネル、耐候性鋼

素地調整: ブラスト SPC-SP10 "Near White"

下地: 有機ジンクリッチ

中塗り: エポキシ

上塗り: ウレタン

防護シールドされた足場 Protective Shielding Platform 負圧を与えて外にほこりを出さない





日本の塗替え塗装の事例

1. 3種ケレンでの塗替え塗装が主だった
→技術レベル、機器の開発の遅れ
2. 「3KJの職場環境の改善が必要
→作業環境の改善→良い仕事
→人に優しい
3. 素地まで錆びたら1種ケレン (RC-1)
→錆の上から塗っても防錆効果はゼロ
→グリッドブラスト、ショットブラストが効率的
4. 桁端の腐食 →部分塗替え塗装の提案
→土木研究センター

結局、「人が鋼橋の寿命を決める」 西川和廣

塗替え塗装の現場(足場、防護工)

塗替え塗装の例
→3種ケレン
作業環境？

交通規制の問題
移動足場(防護工)のようなの
ができないか。
13スパン×2=26箇所

尾張大橋 1934年



日本の塗替え塗装の将来は？

1. 塗替え塗装の環境の改善
足場、覆いの改善、それに見合う積算
吸引で負圧 → 外部に粉塵を出さない
2. 素地調整の改善
素地まで錆びたら1種ケレン、機器の大型化
隙間のケレン
3. プラスト研削材は、スチールグリッド、シヨット
効率的、回収、再利用が可能(循環型)
→ 産廃の低減(塗料カスのみ)



作業環境を改善、良い仕事につながる

鉋碎スラグは塵埃が多い
理由：
研削材が粉碎される
→ 産業廃棄物

ダストがストロボに反射

研削材：
スチールグリッド なら、
回収、再利用が可能
→ 産廃の縮減（～1/40）
良い技術を使おう

回収に手間、すべて産廃

有害物質の問題：鉛系錆止めの変遷

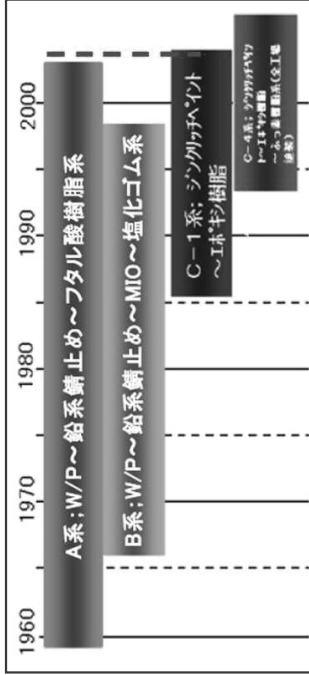


図-1 道路橋塗装系の変遷
(A・B系は2005年以降鉛を含まない錆止め塗料を用い、C-1・C-4系は鉛を含まない)

土木技術資料 55-2、片脇、中野、2013

厚労省、国交省の塗替え塗装の通達

平成26年5月30日 厚生労働省、国土交通省
塗膜剥離作業に従事する労働者の健康被害防止
橋梁新聞の記事 参照

鉛やクロムを含む塗膜の剥離作業では、

飛散防止→湿潤化して作業 または他の方法

→ 粉じん濃度を下げる

換気集じん装置を設置

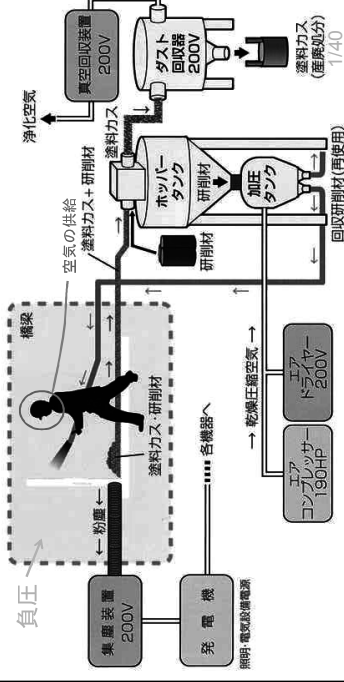
→ 電動ファン式防護マスク

→ 塗膜はく離剤の使用

米国では、1990年代に規制を開始

循環型エコグリーンプラスト

循環型エコグリーンプラストシステム図



循環型エコグリーンプラスト研究会 山田塗装、他



溶接構造物の疲労の基礎 (疲労の3要素)

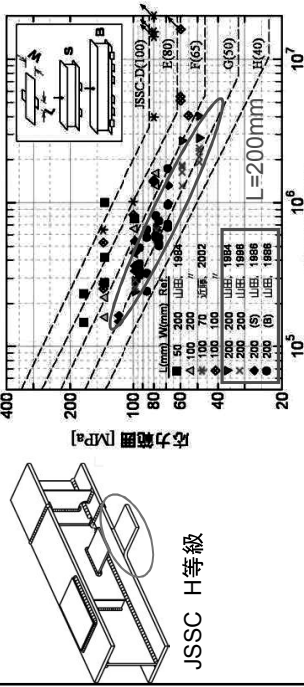
溶接継手の形 継手の疲労強度 疲労試験, ホットスポット応力法, 1mm法 破壊力学を用いた疲労き裂進展解析	structural detail SN線図 (強度) 強度
作用する応力範囲 作用荷重に起因 荷重計測 (Bridge Weigh-in-Motion, BMM)	stress range 計測, 解析 number of cycles
繰返し数 経済, 社会の影響, 予想交通量	使われ方

疲労の3要素がわかれば, 疲労寿命予測が可能

S-N曲線と疲労設計指針

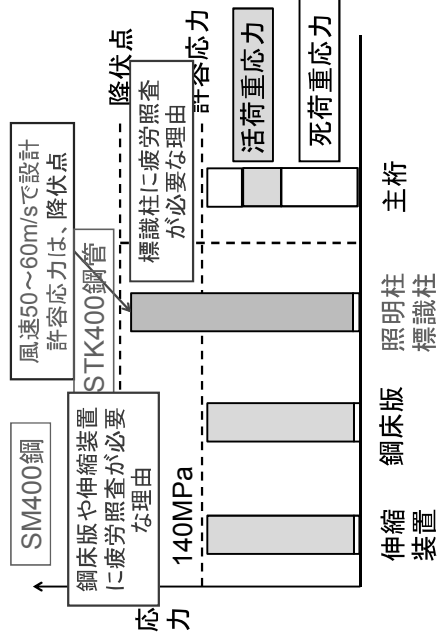
JSSC、道路橋示方書

面内ガセット溶接継手のS-N線図の例

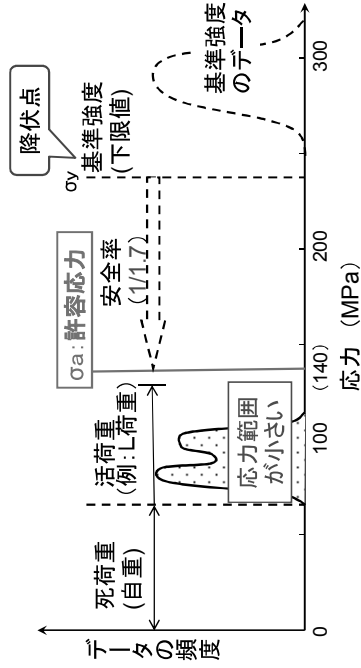


ガセットの長さLでKtが変わる→疲労強度の差につながる

設計応力と応力範囲の関係

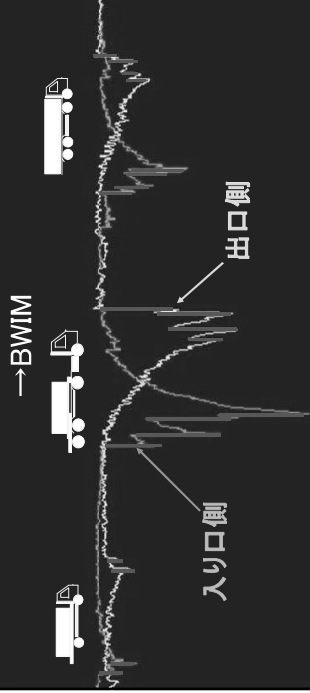


基本：設計応力と応力範囲の関係

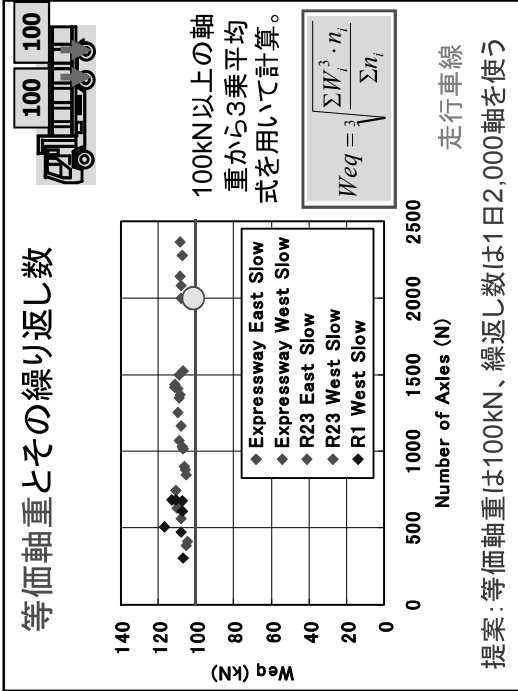
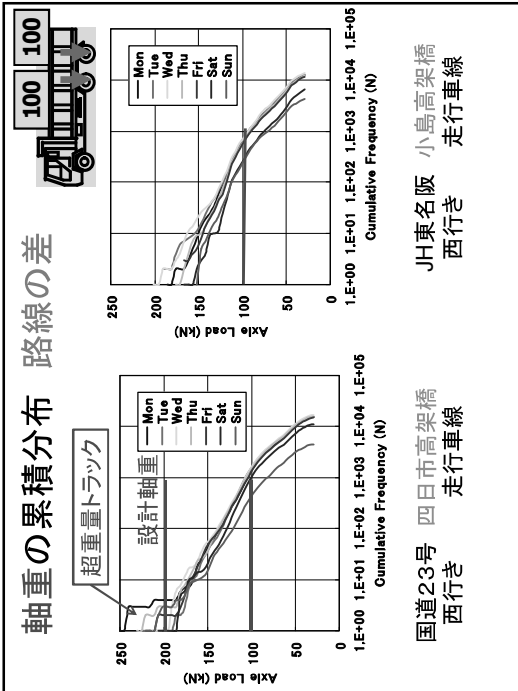
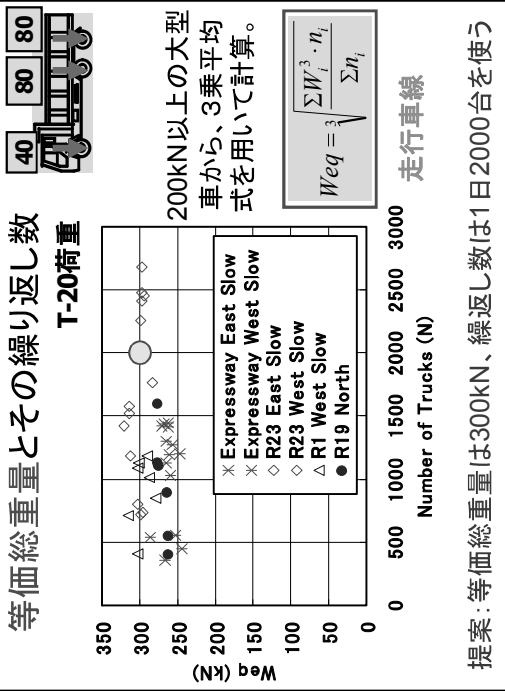
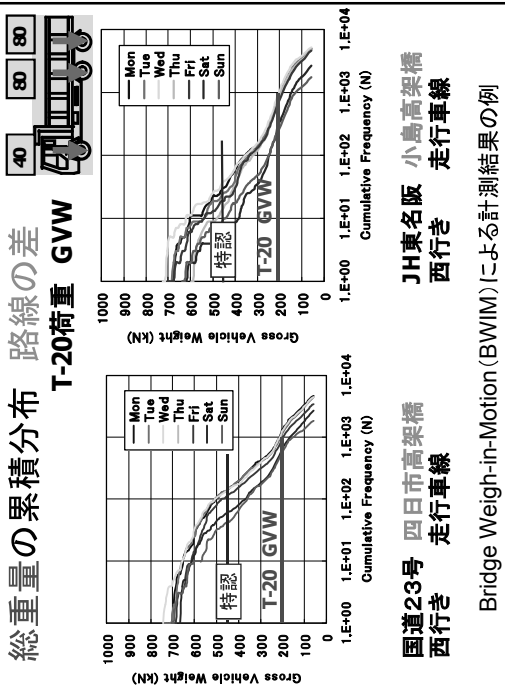


1990年代にヒストグラムレコーダを開発、全国で計測した（土研）

荷重計測：実際に支点で計測されたたひずみ波形



入り口、出口の時間差から速度 ⇒ 軸間の距離を判定
 実際のトラックの軸間距離と比較 ⇒ 車種の判定が可能



国土交通省もやっとう重い腰をあげた？

過積載2倍の車 即告発

国交省 今秋から 厳罰化

2倍までなら 良いの？

2014.5.10 朝日新聞朝刊

国土交通省は、今年10月1日から、トラックの積載重量が、最大積載重量の2倍まで増加した場合、即座に運転者を検挙し、10万円以下の罰金を科す。また、積載重量が1.5倍を超えた場合は、1000円以下の罰金を科す。これは、これまで以上に厳罰化を図るためである。国土交通省は、このように、トラックの積載重量の規制を厳格化する。これは、トラックの積載重量が増加することで、道路の損傷が激しくなるためである。また、積載重量が増加することで、トラックの燃費が悪くなり、環境にも悪影響を及ぼす。国土交通省は、このような理由から、トラックの積載重量の規制を厳格化する。これは、トラックの積載重量が増加することで、道路の損傷が激しくなるためである。また、積載重量が増加することで、トラックの燃費が悪くなり、環境にも悪影響を及ぼす。国土交通省は、このような理由から、トラックの積載重量の規制を厳格化する。

破損したフィンガージョイントの計算書

→ 簡易な疲労照査例

1) 許容応力度係数 $F = 100 \text{ N/mm}^2$

2) 曲げモーメント $M = 100 \text{ kNm}$

3) フィンガージョイントの抵抗幅 $P = 100 \text{ kN}$

4) フィンガージョイントの厚さ $t = 10 \text{ mm}$

5) フィンガージョイントの長さ $L = 100 \text{ mm}$

6) フィンガージョイントの材料 SM520C

7) フィンガージョイントの許容曲げ応力度 195 N/mm^2

8) フィンガージョイントの厚さを決める設計

フィンガージョイントの疲労耐久性の照査

1. 疲労耐久性の計算は簡単な方が良い
 - 疲労照査荷重 輪重 50kN $i=1$
 - 等価繰返し数 1日 2000回
2. 設計計算書の値
 - 耐力の照査では輪重100kN $\rightarrow \sigma=195 \text{ MPa}$
 - 疲労照査の応力範囲 97MPa
 - 継手等級 (SN曲線) 非仕上げ E等級
 - 仕上げ D等級
3. SM520鋼、SM400鋼で比較
 - SM520鋼では、寿命が短くなる。

まとめ

- 鋼橋の長寿命化に向けて
- 繰返し荷重が作用する構造物には疲労照査
 - 事例の把握 \rightarrow 原因究明 解析、計測、実験
 - 点検技術の向上 \rightarrow ニュー・ブリッジ
 - \rightarrow 疲労損傷の事例、モデル
- 既設橋の劣化、損傷事例を反映させる
 - 失敗に学ぶ、欧米の学ぶべき点 (学ぶまねぶ)
 - ただし、背景を理解してまねる
- 疲労対策
 - 設計で構造詳細に配慮
 - 予防保全、疲労強度向上法 (新技術の採用)