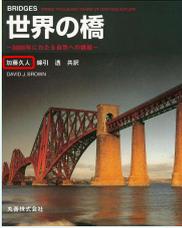


鋼橋の維持管理

東京六稜倶楽部講演会
2025.03.19

86期 加藤久人
陸上競技部
須原先生
溝脇先生

1. 鋼橋の歴史
2. 鋼橋の設計
3. 鋼橋の維持管理



3000年にわたる橋梁史

1. 鋼橋の歴史 橋梁の歴史

世界の橋: 目次 (3000年にわたる自然への挑戦)

<ol style="list-style-type: none"> 1. 起源 2. 古代世界 3. アビニオンの橋 4. ルネッサンス開花 5. 産業革命 6. ビクトリア朝の業績 7. 新世界・新旧の思考 8. 20世紀鋼橋の様々な形 9. 鋼吊橋 10. コンクリート橋の到来 11. 斜張橋 12. 最先端の状況 13. 未来に向けて 	<p>重力への挑戦 人類の営み</p> <p>倒木, 岩石 有史前</p> <p>ローマ~中世</p> <p>リアルト橋~アイアンブリッジ 1779年</p> <p>鉄材料の実用化</p> <p>テイ橋, フォース鉄道橋 1889年</p> <p>アメリカの発展, ブルックリン橋 1883年</p> <p>プレートガーダー, トラス, アーチ</p> <p>明石橋, チャナツカレ橋 2023m, 2023年</p> <p>PCの採用 フレシネ 1921年</p> <p>ルースキー橋 1014m, 2012年</p> <p>大阪湾岸西伸部, 2,730m 5連続斜張橋</p> <p>インフラ構造の維持管理</p>
---	---



有史前の橋



ミャンマーの木橋



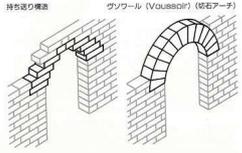
滝道 倒木 2019台風



大阪・箕面滝

1. ローマのアーチ橋 紀元前19年頃、ガール水道橋、アビニオン

- 木の橋⇒朽ち果てる
- 長さ270m、高さ49m
- 径間比の進化
3:1 ⇒ 5:1



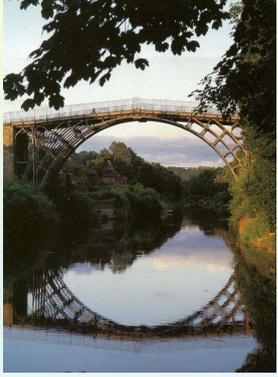
持ち寄り構造 ヴォールール (Voussoir) (石アーチ)



3. アイアンブリッジ橋 1779年、

鑄鉄、英国コールブルックデイル、30.5m

- 産業革命
- 短期間架設
- くさび・ありつぎの採用
- Abraham Darby卿
設計⇒Thomas Pritchard



4. テイ橋 1879年、

風圧により落橋、スコットランド



静的応答

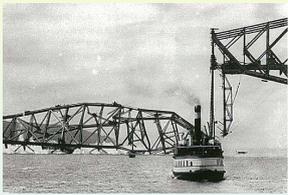
桁断面

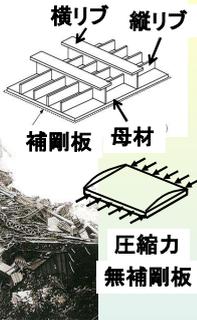


水平応答



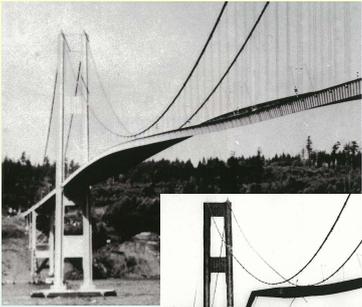
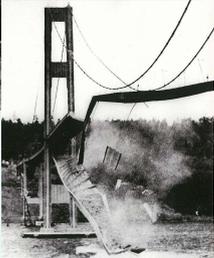
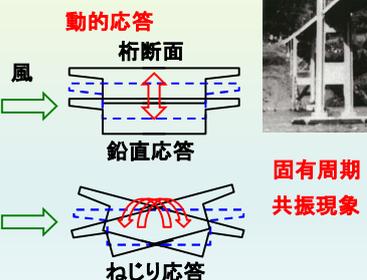

5. ケベック橋 1916年、建設中に落橋、鋼板の局部座屈





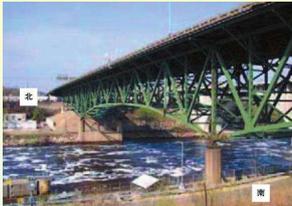

7

6. タコマ橋 1940年、吊橋、動的応答で崩落、シアトル

8

101. 米国I35(220719追加) ミネアポリス 改修時の工事荷重 ガセット設計板厚不足

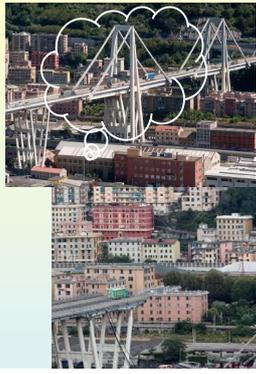
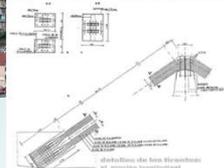



土木学会誌 Vol.92

ミシシッピ橋 2007.8.1 13名死亡 ガセット厚過小

9

104. イタリア ジェノバ モランディー橋 (220719追加)

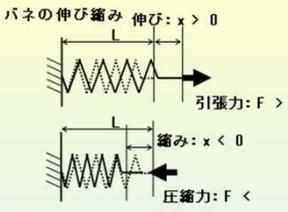



2018.8.14 30名以上死亡 冗長性の欠如

10

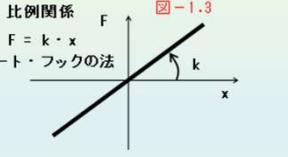
2. 鋼橋の設計

- ◆鋼鉄の特徴を活用
 - 高強度な鋼鉄の利用
 - 死荷重の軽減
 - 長スパン化
 - 容易な現地施工
 - 石構造に対し、経済性向上
- ◆構造解析
 - 1970年代 コンピュータの活用開始
 - 任意骨組みへの対応
 - 2000年代 地震時、動的解析の導入
 - 1秒を100ステップに分割



比例関係 $F = k \cdot x$

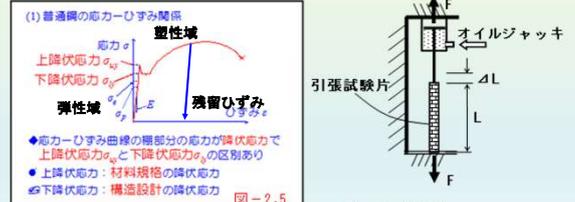
ロバート・フックの法則



◆設計用期間の例 道示:100年, 本四上部工:200年, 鉄道構造: 100年



鋼材の応力・ひずみ関



設計の目的

- 発生力が材料の強度以下
- 過大な変形が発生しない

12

長大吊り橋の比較

橋名	完成	スパン
明石海峡大橋	日本 1998年	1,991m
チャナッカレ1915橋	トルコ 2022年	2,023m

ケーブル張力を求める方程式

$$H = \frac{L^2}{8f} w \Rightarrow y = \frac{L^2}{8f} x$$

2次元連立方程式

$$\begin{cases} c_1 = a_1x + b_1y \\ c_2 = a_2x + b_2y \end{cases}$$

n次元連立方程式

$$\begin{cases} y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \\ y_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \\ \vdots \\ y_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n \end{cases}$$

コンピュータの活用

上部構造: コンクリート床版

下部構造: 鋼製主桁

プレートガーダー橋

鋼製主桁

コンクリート床版

・多径間橋の連続化

・異種材料 合成

地震時応答解析 時刻歴解析

1/100秒毎 xとxとx

性能照査型設計

以下の2点を達成することを目的に構造物、部材を決定

- ・構造物に対する要求性能を供用期間において確保
- ・供用期間におけるライフサイクルコストを最小化

※計画、設計、施工、維持管理、更新・再利用に至るまでの総費用、略してLCC

新設構造物の性能を高くすると

建設費Cは増大するが、損傷が発生しにくなり

維持管理費Mは減少

⇒総費用C+Mを最化する性能水準を求める

供用期間

設計供用期間の例 道示:100年, 本四上部工:200年, 鉄道構造:100年

保有性能

補修

保有性能の変化

要求性能

設計供用期間

維持管理検討時

予測供用期間

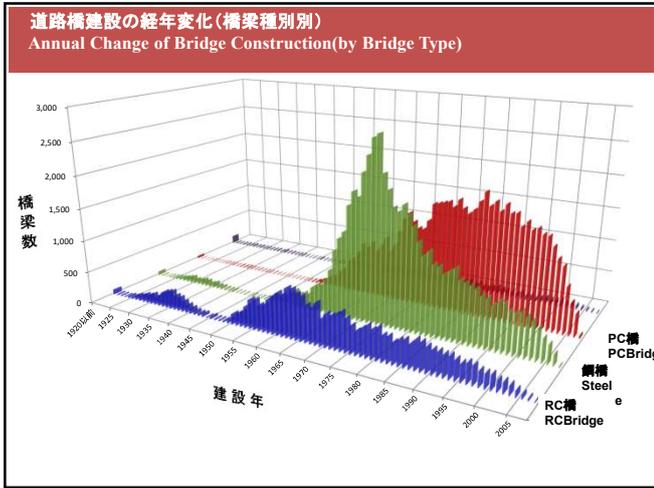
供用期間

◆設計時

- ・構造物が、当初計画した維持管理の範囲内で特別な補修をすることなしに、目的とする機能を十分に果たすべき期間設計供用期間

◆維持管理検討時

- ・損傷・劣化による性能低下と補修・補強による性能向上を考慮した構造物の保有性能、それ以後の作用・環境を評価し、要求性能を満足できる期間を予測 ⇒予測供用期間



笹子トンネル天井板落下事故(2012年12月2日)

12/2 12:00撮影

出典: 第2回国土幹線道路部会資料(2012年12月12日)

- ◆事故による影響
 - ・犠牲者9名
 - ・2か月を超える通行止め
- ◆点検・維持管理に対する疑問
 - ・12年間にわたりL断面天頂部ボルトに対する近接目視、打音検査が未実施

出典: フリー百科事典 ウィキペディア (Wikipedia)

木曾川大橋 トラスの斜材破断

2007年6月20日、国道23号
国土交通省中部地方整備局

破断した鋼材、上下が完全に分離している
破断が発見された翌日に緊急対策工事に入った
修繕後の状況(当て板補修・開口部設置)

19

道路橋の定期点検

令和6年2月1日
国土交通省 国土技術政策総合研究所 白戸真大

<https://kandoken.jp/cms/wpcontent/uploads/2024/01/240201%E3%80%90%E8%AC%9B%E6%BC%94%E9%A1%8C%E7%9B%AE%E3%80%91%E6%A9%BB%E6%A2%81%E5%9A%E6%9C%9F%E7%82%B9%E6%A4%9C%E8%A6%81%E9%A0%98%E3%81%AE%E6%94%B9%E5%AE%9A.pdf>

道路構造物の法定点検は3巡目へ

- H13 予防保全の必要性の高まり
- H16 直轄定期点検要領の改定
- H25 トンネル天井板事故、道路法改正
- H26 技術的助言(定期点検要領) 2014
- H31 (R1) 技術的助言(要領) 改定 2019

↓ 20年、10年

- R6 技術的助言の改定へ向けた検討 2024

https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000673.html

20

和歌山送水管橋 落橋 六十谷水管橋 2023.10.02

<https://ja.wikipedia.org/wiki/>

<https://www.mbs.jp/news/feature/kansai/article/2021/12/087030.shtml>

21

3. 鋼橋の維持管理 床版の損傷事例

飯大 松井繁之先生

[PDF] 道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究 令和二年三月土木研究所資料

輪荷重走行試験機@土研
輪荷重走行試験(疲労試験) 国総研
YouTubeチャンネル

RC床版のS-N関係
図定負重載荷

2

伸縮装置、支承の劣化と対策

Aungzaya bridge In Myanmar 伸縮装置の問題

横ビームが土砂に埋まる
機能の喪失
伸縮が不可能
排水が不十分

10	Aungzaya	Cable Stayed	2000	140.8+300+140.8=581.6m
----	----------	--------------	------	------------------------

伸縮装置の役割

橋体の橋台への衝突を回避
温度変化に伴う橋体の伸び縮み
地震振動による橋体の移動変位
橋体と橋台の間に空間を確保する

Expansion joint
Deck and bridge body
Clearance
Bearing
Expansion and contraction Movement
Abutment

伸縮装置の役割
伸縮装置の必要性とは?
伸縮装置は橋体と橋台の間に設置されるこれにより車両は空間の上を円滑に走行、通過が可能となる。

伸縮装置に求められる7つの性能

1. 車両通過時の静粛性
2. 車両通過時の衝撃発生防止
3. 長期間の耐用
4. 路面表面水の漏水防止
5. 容易な設置
6. 容易で経済的な維持管理
7. 安価な付属品

24

フィンガータイプ 鋼製伸縮装置

最大圧縮
最大引張

図-1.1.1 伸縮装置断面概観図

漏水防止のためのBack up 材。
鋼製伸縮継手用弾性充填材として開発された、液状ポリブタジエンを主剤とした無溶剤二液反応型シール材。

弾性シール材 (ポリブタジエン系)
鋼製鋼
高弾性バックアップ材

路面雨水の漏水
伸縮装置
桁端の腐食
支承の腐食
漏水の帯水
道路面の段差
隙間の喪失

伸縮装置関連の損傷事例

伸縮装置の分離

フィンガーの亀裂

フィンガー破断

支承の問題
Maubin bridge in Myanmar

アプローチ盛り土からの土圧水平力の作用
トラス部分へ水平推力が作用
橋脚頂部において過大な水平変位の発生
支承の破壊発生
~2013.

過大水平変位

Yangon Maubin

Figure 4.1: Sketch of Maubin Bridge showing roller and hinge supports over piers (P4 ~ P8).

4 span continuous truss bridge
main span of 480 m (4 x 120 m)
with 8 side spans, 4 on each side (8 x 30 m)

支承の機能

橋梁上部工の下部工への支持

- ・垂直力
死荷重—橋体自体の重量
活荷重—自動車や列車の重量
- ・水平力
地震や風、その他の要因による水平力

上部工
下部工
支承

支承の配置

支承に生じた損傷の事例

国土技術政策総合研究所

泥の堆積と腐食

コンクリート
かけ落ち

ローラーの脱落

ゴム体の損傷、ひび割れ、
低品質ゴム材料やオゾン劣化

耐震性能の改善
ゴム支承の採用

地震時の応答

固定・可動支承の場合

水平力分散支承=弾性支承の場合

地盤地震動からの孤立化
水平力の減少化

地震時における水平力の発生状況は支承の拘束条件によって異なる

次頁以降に解説

→: 水平力
⇄: 鉛直力

内力

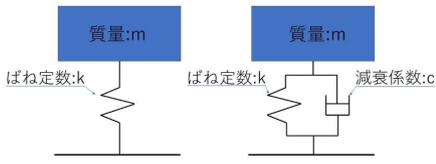
慣性力

FMRI
独立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

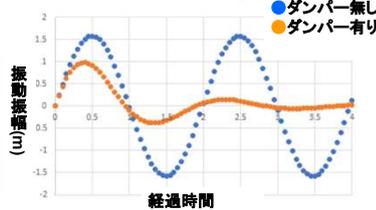
ダンパーの機能

機械工学・設計・解説サイト
ダンパーとは、運動エネルギーを吸収する機構のこと

①ダンパーなしの場合 ②ダンパーありの場合



初期条件は
時間 $t = 0$
のとき、
変位 $x = 0$ 、
初速度 $v = v_0$
とした場合、



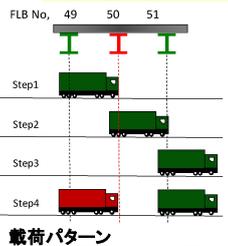
4.疲労損傷の事例と補修

- ・エーヤワディー川、マンダレー・ザカイン間
- ・中国が設計、製作
- ・2008年にMOCが現地架設（中国の指導）
- ・4車線+両側歩道
- ・2@112mトラス+3@224m連続アーチ+2@112mトラス

JICA報告書PDF版(JICA Report PDF)
(10) Yadanarbon Br. Bridge
Type: Steel Arch & Truss
Design Making: China Work
Construction: Public Works
2001.10- 2008.4 (7.5years)
Constructed at 600m
upstream of old bridge
(passing 78 years)
Old bridge : suffered from
heavy traffic Now in operation
as railway and road bridge
with the vehicle of 15t or less.
When constructing it, the
vibration by the wind was
generated.



ヤダナボン橋における夜間荷重載荷実験



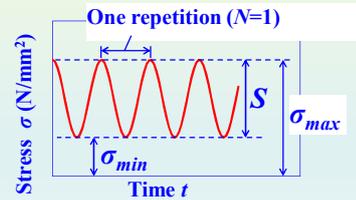
疲労破壊：

明石高専 三好崇夫 講義ノート

- 橋梁に生ずる損傷の大きな要因の一つ
- 特に床組での発生事例多数

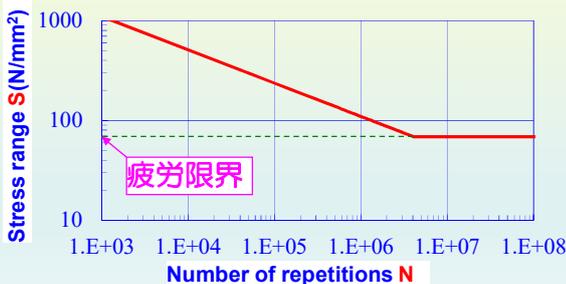
疲労強度：

応力振幅 $S (= \sigma_{max} - \sigma_{min})$ とその繰り返し回数 N で表される特性曲線を持つ



応力振幅と繰り返し回数の関係

- 一般に、応力振幅と繰り返し回数とを対数表示にすると S-N 曲線の直線表示可能
- 疲労限界は一般には200万回の疲労試験を実施して決定



補剛板の背面
隅肉溶接の直下で
隅肉溶接に沿った
横桁ウェブ上の疲労亀裂



Stiffener at end support, Web on main girder, Fatigue cracks, Steel bearing, Sole plate (Weld), Increase in thickness of web on main girder, Interrupted flange, Gum bearing (Fixed by high tension bolts)

● At girder end

Examples of fatigue damage in steel bridges and modifications to joint structures

鋼構造学 原隆・山口隆司・北原武嗣・和多田康男 コロナ社 2007 37

塗装における素地調整の重要性

■ 耐候性鋼材補修塗装時の素地調整と塗装系の防食性(屋外暴露10年後)

ふっ素系上塗 25μm
ふっ素系中塗 30μm
エポキシ下塗 60μm
エポキシ下塗 60μm
有機ジンクリッチペイント 75μm
鋼板

Sa 2 1/2, Sa 2, Sa 1, St 3 動力工具処理

プラスト処理

早い段階で、グレードの高い素地調整で補修をした方が長期の塗膜耐久性を期待できる。

粉じんや騒音に対する配慮

(a) 外面全景

(b) 内部

足場防護工の事例(都市内高架橋)

- 全面板張り
- 養生シート2重
- 施工区間の両端を合板等で閉仕切り
- 防音マット など

現場プラスト作業における養生の例(桁橋)

現場プラスト作業における養生の例(トラス橋)

出典:日本道路協会「鋼道路橋塗装・防食便覧資料集」,丸善(2010)

IH塗膜除去工法研究会

<http://ih-tmk.com/>
阪大 廣畑幹人先生

電磁誘導により、鋼板を加熱し、塗装と鋼板面の接着を緩めることで塗膜を容易に剝離・除去する工法です。

スクレーパ, 塗膜, 加熱ヘッド, ケーブル, ヘッドユニット, 鋼板

- 特許(第5896849号)「塗装剝離方法」
- NETIS登録(CB-130001-A)「電磁誘導加熱による鋼構造物の塗膜剝離工法」

TBS NEWS DIG Powered by JNN (TBS NEWS DIG Powered by JNN)

まとめ

埼玉県 下水陥没

インフラの維持管理

3K きつい、きたない、きけん

Civil Engineering
土木工学 → 地球総合、社会基盤工学、都市システム

技術者のモチベーション → 使命感 → 市民の下僕 → 賃金

新設工事と補修工事の違い

難しい、未知なる工法、先が読めない、もうからない、

41

解決策案

技術者の地位確立、働き方改革

新技術の導入
ロボット化、AIの活用

工事の出来高払い、コストの明確化

存続 or 廃止のコンセンサス、トリアージの発想

土木學會誌