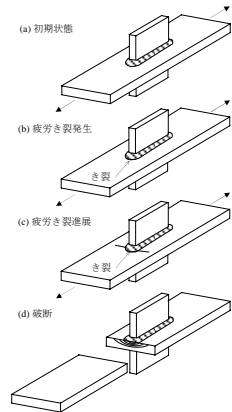
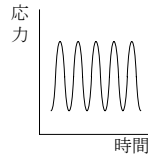


鋼橋の疲労対策技術の現状と展望

平成23.11.15

名古屋大学大学院工学研究科
館石和雄

疲労破壊



- ・降伏強度以下の応力の繰返し、変形を伴わない。
- ・応力繰返しによりき裂発生、徐々に進展。

疲労(破壊力学含む)研究の歴史

- 1779年 アイアンブリッジ竣工
- 1886年 ニューヨーク給水塔(リベット構造)でぜい性破壊(記録に残る最初のぜい性破壊)
- 1920年 A.A.Griffith(英)によるぜい性材料の破壊理論。
- 1940年頃 米国戦時標準船T-2タンカー、リベット船(溶接船)のぜい性破壊
- 1950年頃 G.R.Irwin(米)による破壊力学の提案、延性材料へ拡大、応力拡大係数の定義

日本では・・・

土木学会年次大会概要で、“疲労”および“疲れ”をキーワードにして検索してみた。

コンクリート、鉄筋などの文献は除外。

～1965

1957年	橋梁用鋼材の腐蝕疲労実験について	岡本舜三	北川英夫		
1957年	高張力ボルトを使用した継手の疲労強度	大宮克巳	田島二郎		
1958年	橋梁用鋼材の腐蝕疲労について(第2報)	岡本舜三	北川英夫		
1959年	橋桁に使用する2.3の溶接継手の疲労強度	友永和夫	多田美朝	田島二郎	
1959年	疲労破壊の確率について	小西一郎	西村昭	南武雄	
1960年	材料疲労を考慮した橋の設計方式について			西村昭	
1962年	継手疲労試験結果のばらつきについて			西村昭	
1963年	摩擦接合型継手の疲労強度	小西一郎	西村昭	山崎鷹生	
1965年	スタッド合成桁の疲労試験について			赤尾親助	三宮和彦
1965年	高張力鋼の高応力低繰返し疲労	奥村敏恵	齋藤達郎	堀川浩甫	安中徳二
1965年	合成桁の疲労実験			阿部英彦	中野昭郎
1965年	疲労亀裂の発生の機構について			奥村敏恵	堀川浩甫

最初にヒットしたのは1957年

1961年:Paris則

1966～1970

1967年	高張力鋼の疲労強度に関する実験的研究(第1報)	安宅勝	波田凱夫	前田幸雄		
1967年	鉄道橋の疲労寿命と支間の関係について			伊藤文人		
1968年	80キロ鋼プレートガーダーの疲労実験について	菊池洋一	鈴木悦男	桜井孝		
1968年	スタッドジベルの押し抜き疲労強度に関する研究	沢野邦彦	若林武忠	成岡昌夫		
1968年	高張力鋼の疲労強度に関する実験的研究(第2報)			安宅勝	波田凱夫	
1968年	鉄道橋の実用電車荷重による等価疲労被害			伊藤文人		
1968年	構造用軟鋼切欠材の重複荷重による疲れ強さについて			西村俊夫	丸山嘉高	
1969年	80キロ鋼プレートガーダーの疲労と残留応力について	菊池洋一	桜井孝	山田健太郎		
1969年	プレートガーダーの疲労強度に関する研究			波田凱夫	小林健三	
1969年	高張力鋼の疲労強度に関する実験的研究(第3報)			安宅勝	波田凱夫	
1969年	重複荷重による軟鋼材の疲れ強さに及ぼす切欠きの影響			西村俊夫	丸山嘉高	
1969年	長大橋ケーブル用鋼線の疲労およびクリープ性状			高橋賢司	高島弘教	他
1970年	スタッドジベルの押し抜き疲労強度について			伊藤隆夫	成岡昌夫	
1970年	プレートガーダーの疲労に関する実験的研究			前田幸雄	村田勝弘	宮村隆夫
1970年	隅肉溶接継手の疲労特性に関する研究			奥村敏恵	堀川浩甫	奥川洋志
1970年	高張力鋼溶接H形桁の疲労挙動	菊池洋一	山田健太郎	安田敏雄		
1970年	道路橋の疲労寿命の一推定法			小堀為雄	Shinozuka.M.	
1970年	軟鋼材の疲れ強さに及ぼす応力波形の影響について	西村俊夫	丸山嘉高	荒井国夫		

疲労の基礎的な研究。

1968年:「疲労」セッション新設
高張力鋼の疲労。

1971~1975(その1)

Table with 3 columns: Year, Research Title, and Author(s). Includes entries for 1971-1975 regarding high-strength steel beam fatigue tests, stress concentration, and fracture mechanics.

1971~1975(その2)

Table with 3 columns: Year, Research Title, and Author(s). Includes entries for 1973-1975 regarding fatigue tests on steel plates, welded joints, and fracture mechanics.

徐々に数が増えてきた。 1971年：き裂閉閉口現象の発見(Eiber)
引き続き高強度鋼の疲労。 1974年：港大橋完成。
桁、ずれ止めの疲労に関する研究。

1976~1980(その1)

Table with 3 columns: Year, Research Title, and Author(s). Includes entries for 1976-1980 regarding fatigue tests on steel plates, welded joints, and fracture mechanics.

1976~1980(その2)

Table with 3 columns: Year, Research Title, and Author(s). Includes entries for 1979-1980 regarding fatigue tests on steel cables, welded joints, and fracture mechanics.

本四関係の研究が本格化。 1977年：Albrecht & Yamada論文。
破壊力学による疲労解析。 1979年：大三島橋完成。

1981~1985(その1)

Table with 3 columns: Year, Research Title, and Author(s). Includes entries for 1981-1985 regarding fatigue tests on steel plates, welded joints, and fracture mechanics.

1981~1985(その2)

Table with 3 columns: Year, Research Title, and Author(s). Includes entries for 1984-1985 regarding fatigue tests on steel plates, welded joints, and fracture mechanics.

鋼床版関連の研究。 1982年 PC9801発売。
継手疲労強度の充実。 1983年 'America in Ruins'
大型部材による疲労試験。 1983年 因島大橋完成。
1984年 J.W.Fisher 'Fatigue and fracture in steel bridges' 出版
1985年 大鳴門橋完成

1986～1995

- 1985～ 道路版桁橋などに疲労が顕在化。
二次応力，変位誘起疲労の概念
- 1988年 瀬戸大橋完成
- 1990年 JSCE「鋼床版の疲労」出版
- 1990～ 有限要素解析ソフトの一般化
変動応力振幅下での疲労試験
- 1993年 JSSC「疲労設計指針・同解説」
- 1994年 聖水大橋落橋
- 1995年 阪神淡路大震災

13

1996～

- 1997年 「鋼橋の疲労」出版
- 1998年 明石海峡大橋完成
- 1999年 しまなみ海道全通
- 2000頃 鋼製橋脚の疲労が顕在化。
鋼床版の疲労事例の報告が増加。
- 2002年 「鋼道路橋の疲労設計指針」出版
- 2007年 I-35W，木曾川大橋などの破壊事故
- 2010年 JSCE「鋼床版の疲労」改訂版
JSSC「鋼構造物の疲労設計指針・同
解説（改訂案）」

14

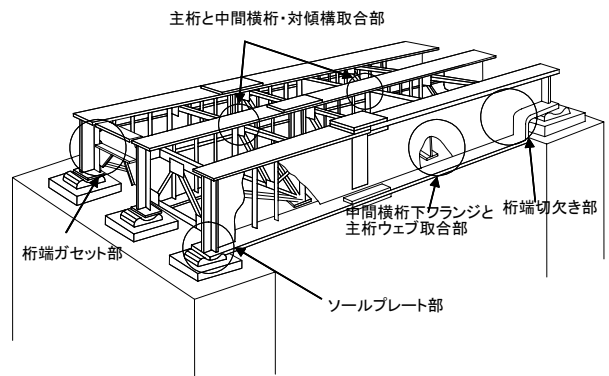
鋼橋の疲労損傷事例



委員長 森 猛(法政大)

15

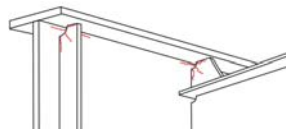
疲労損傷マップ(鈑桁)



16

垂直補剛材やウェブギャップ板のき裂

JSSC T.R.No.71「鋼橋の疲労耐性向上・長寿命化技術」より



17

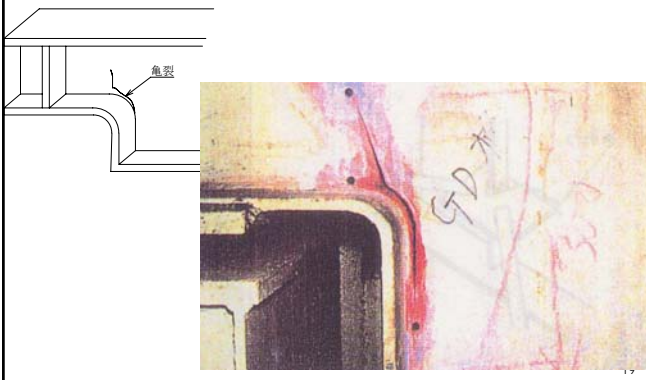
ソールプレート付近のき裂

JSSC T.R.No.71「鋼橋の疲労耐性向上・長寿命化技術」より



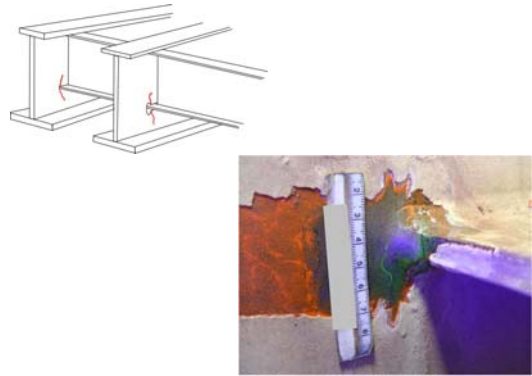
18

桁端切欠き部の損傷例



主桁－横桁交差部のき裂

JSSC T.R.No.71「鋼橋の疲労耐久性向上・長寿命化技術」より



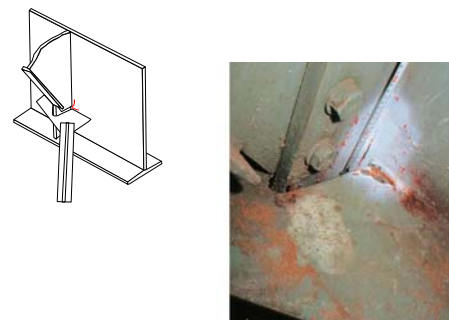
山添橋の事例(2006年発見)



出典: 奈良国道工事記者発表資料

桁端ガセット部のき裂

JSSC T.R.No.71「鋼橋の疲労耐久性向上・長寿命化技術」より



疲労対策あれこれ

- 新設橋を対象としたもの
 - 疲労設計
 - 適切な構造ディテールの選択
- 既設橋を対象としたもの
 - 疲労損傷を防ぐための技術 (補強, 予防保全)
 - 疲労損傷を治すための技術 (補修+補強 or 補修・補強)
 - 補修・補強設計, 余寿命評価技術

この他に疲労損傷を検知するための技術 (非破壊検査, モニタリング) もあるが本日は割愛。

23

疲労対策あれこれ

- 新設橋を対象としたもの
 - 疲労設計**
 - 適切な構造ディテールの選択
- 既設橋を対象としたもの
 - 疲労損傷を防ぐための技術 (補強, 予防保全)
 - 疲労損傷を治すための技術 (補修+補強 or 補修・補強)
 - 補修・補強設計, 余寿命評価技術

24

鋼構造物の疲労設計指針・同解説(改訂案)2010

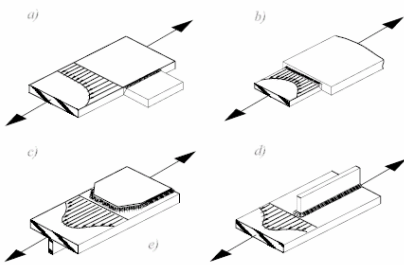


委員長 森 猛 (法政大)
 副委員長 大沢直樹 (大阪大)
 副委員長 館石和雄 (名古屋大)
 幹事 貝沼重信 (九州大)

3つの手法

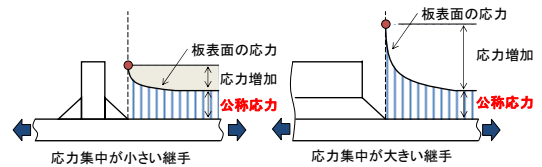
- 公称応力を用いた疲労照査
- ホットスポット応力を用いた疲労照査
- 疲労き裂進展解析を用いた疲労照査

公称応力と局部応力



継手形状によって応力集中の程度が異なる。

公称応力基準の疲労照査

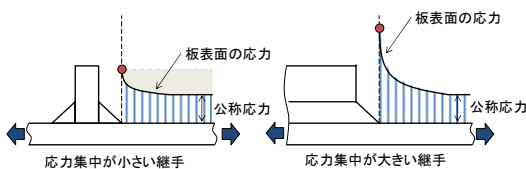


- ◇公称応力を照査応力とする。
- ◇応力集中の大小は継手等級分類で考慮する(応力集中が大きい継手には低い設計強度を与える)。

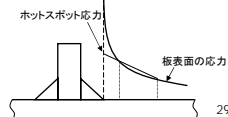
(4) 基準以上照査継手(許容応力を超過した継手も含む)

継手種別	照査等級	照査係数	照査係数
A 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
B 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
C 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
D 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
E 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
F 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
G 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
H 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
I 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
J 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
K 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
L 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
M 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
N 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
O 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
P 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
Q 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
R 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
S 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
T 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
U 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
V 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
W 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
X 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
Y 両面溶接継手(溶接部を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0
Z 両面溶接継手(母材を照査)	1	1.0	1.0
	2	1.0	1.0

局部応力基準の疲労照査



- ◇赤丸で示される応力を照査応力とする。
- ◇この応力には応力集中の影響が取り込まれているので、強度は継手形状には依らない。
- ◇実際には赤丸で示される応力を求めるのは難しいので、周辺の応力から推定する→ホットスポット応力



両者の比較

公称応力基準の疲労照査

- 実績が豊富。
- 応力算出が容易。
- ×公称応力が定義できない場合がある。
- ×複雑な継手形状(表に載っていないもの)には使えない。

局部応力基準の疲労照査

- 公称応力が定義できない場合にも使える。
- 表に載っていない形状の継手にも使える。
- ×局部応力を求めるのに手間がかかる。
- ×ホットスポット応力の求め方が定まっていなかった。
- ×実績が必ずしも十分ではない。

疲労き裂進展解析による疲労照査

応力拡大係数範囲

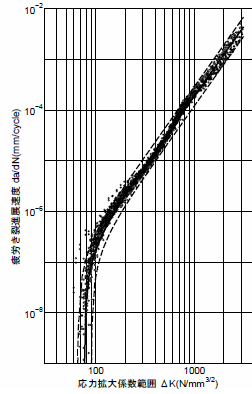
$$\Delta K = (F_i \Delta \sigma_i + F_b \Delta \sigma_b) \sqrt{\pi a}$$

Paris則

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta K) = C(\Delta K^n - \Delta K_{th}^n)$$

破断寿命

$$N_p = \int_{a_i}^{a_c} \frac{da}{f(\Delta K)}$$



31

改訂案のポイント

- 公称応力を用いた疲労照査
I等級を追加。
継手等級の再検討。
1990年ころからの溶接法の変化(SMAW→CO₂)
による影響の分析。
- ホットスポット応力を用いた疲労照査
HSS外挿点を0.4tと1.0tと明示。
- 疲労き裂進展解析を用いた疲労照査
従来の付録から本文へ格上げ。

32

I等級の追加

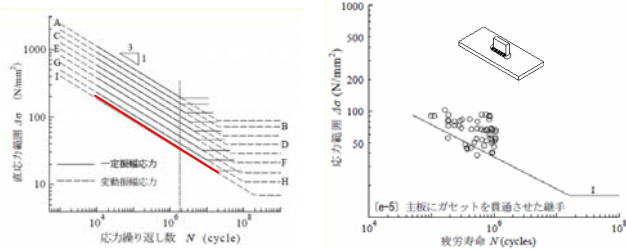
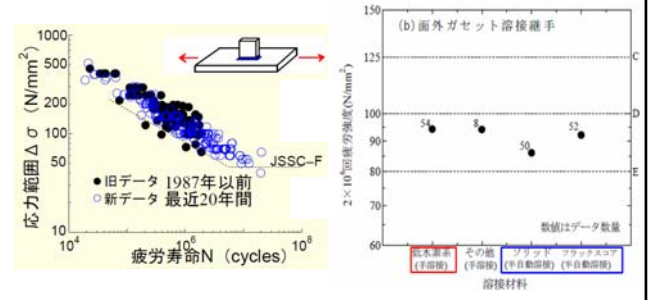


図 3.1 疲労設計曲線 (直応力を受ける継手)

33

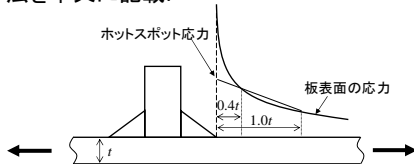
溶接法の影響



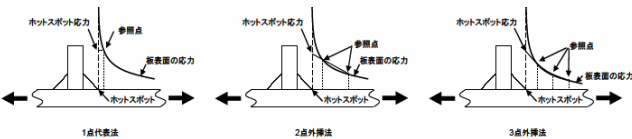
34

ホットスポット応力を用いた疲労照査

○2点外挿法を本文に記載。



○他の手法は解説で紹介。



35

JSSCシンポジウム2011

JSSCシンポジウム「エンジニアリングセッション」
JSSC疲労設計指針の改定要旨と設計例

11月17日 (木) 13:00~15:00

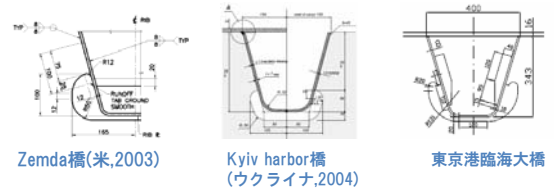
36

疲労対策あれこれ

- 新設橋を対象としたもの
 - 疲労設計
 - 適切な構造ディテールの選択
- 既設橋を対象としたもの
 - 疲労損傷を防ぐための技術
(補強, 予防保全)
 - 疲労損傷を治すための技術
(補修+補強or補修・補強)
 - 補修・補強設計, 余寿命評価技術

37

適切な構造ディテールの選択

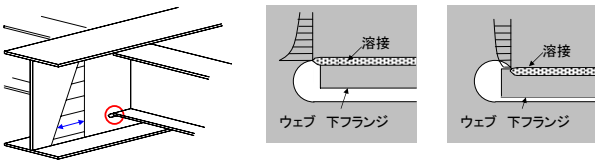


- 「鋼道路橋の疲労設計指針」などを参考に

38

構造ディテールと疲労:留意点

- 疲労は非常に局所的な箇所の応力(集中)によって発生する。
- ちょっとしたディテールの変更で疲労抵抗性は変わる。



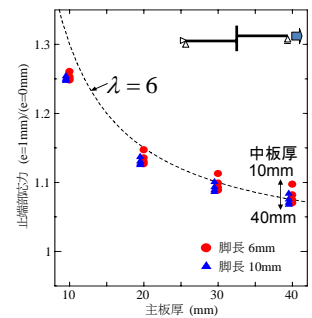
39

目違いの影響

式(1) —
JSSC 疲労設計指針

$$km = 1 + \lambda \frac{e}{2t}$$

$\lambda = 3$ 完全拘束
 $\lambda = 6$ 完全非拘束



鋼橋技術研究会 施工部会(部会長: 館石和雄)
目違いWG(主査: 穴見健吾(芝浦工大))で活動中。

40

疲労対策あれこれ

- 新設橋を対象としたもの
 - 疲労設計
 - 適切な構造ディテールの選択
- 既設橋を対象としたもの
 - 疲労損傷を防ぐための技術
(補強, 予防保全)
 - 疲労損傷を治すための技術
(補修+補強or補修・補強)
 - 補修・補強設計, 余寿命評価技術

41

疲労損傷を防ぐための技術(補強)

損傷の発生条件

抵抗(疲労強度) < 負荷(応力範囲と繰返し数)

- 疲労強度を向上させる技術

止端処理(グラインダー, ピーニングなど)
低温変態溶接材料
欠陥の除去
耐疲労鋼

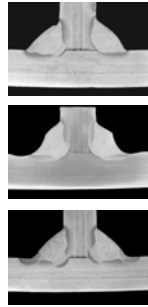
- 応力を緩和する方法

剛性の付与(当て板, のど厚増加, SFRCなど)
剛性の低減(孔加工など)
構造系の変更(部材の追加など)

42

止端処理技術と課題

- 止端形状の改良
グラインダー処理, TIG処理
処理形状の管理が課題
- 残留応力の低減 (+形状改善)
ハンマーピーニング, ニードル
ピーニング, UIT, UP, High
Frequency Peening
残留応力の確認手法が課題



いずれの手法も止端き裂に対してのみ有効

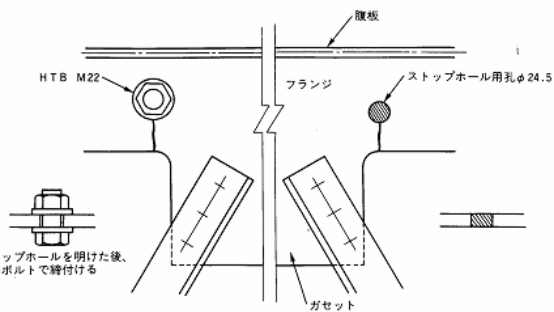
43

疲労対策あれこれ

- 新設橋を対象としたもの
疲労設計
適切な構造ディテールの選択
- 既設橋を対象としたもの
疲労損傷を防ぐための技術
(補強, 予防保全)
疲労損傷を治すための技術
(補修+補強 or 補修・補強)
補修・補強設計, 余寿命評価技術

44

ストップホール工法



45

溶接補修

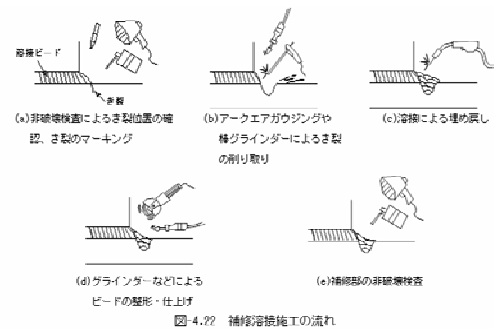


図 4.22 補修溶接施工の流れ

46

理想的な補修・補強

き裂除去
+
再溶接
+
(目立たない)疲労強度向上策
きれい! 早い! 安い!



でも・・・

溶接に耐えられる材質なの?
供用下での振動の影響は?
どのくらい長さのき裂まで適用できるの?
その疲労強度向上策で十分なの?

47

理想的な補修・補強のための課題

溶接に耐えられる材質なの?
事前に調査することは可能.

供用下での振動の影響は?
現在の抛り所
「供用下にある鋼構造物の溶接施工指針(案)」
JSSC T.R.No.22 (堀川浩南委員長), 1993年

どのくらい長さのき裂まで適用できるの?
上の2項目から判断。
いずれにしろ, 検査できることが大前提.

その疲労強度向上策で十分なの?
次項の余寿命評価で判断できるものもある.

48

見苦しくない補修・補強

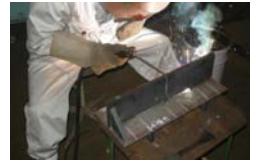
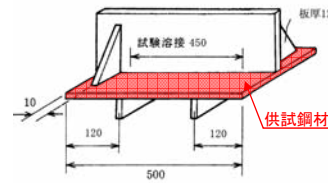


委員長 杉浦邦征(京都大)

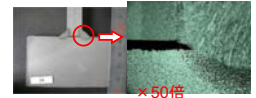
49

溶接割れ試験

1896,1903,1960年竣工の橋から古材を入手。



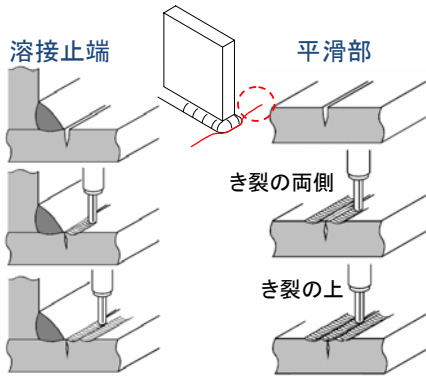
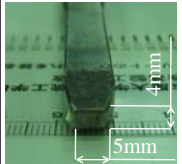
拡散性水素量測定結果	溶接棒の乾燥条件		
	80°C × 1時間	80°C × 1時間後 炉外放置	
溶接施工時の 気温(°C) 湿度(%)	35°C, 80% (夏季想定)	42 ml/100g	43 ml/100g
	5°C, 75% (冬季想定)	36 ml/100g	41 ml/100g



鋼橋技術研究会 施工部会(部会長: 館石和雄)
溶接割れWG(主査: 一宮充(横河BHD))で活動中。

50

ICR処理

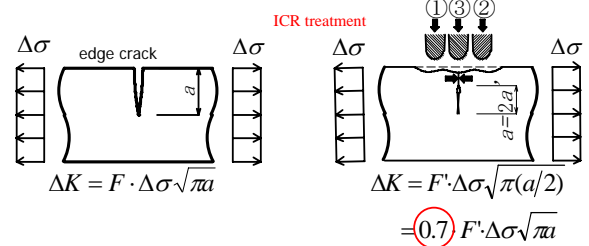


特許 名古屋大学 山田健太郎先生, 石川敏之先生 →ICR工法研究会

破壊力学による考察

疲労き裂進展速度

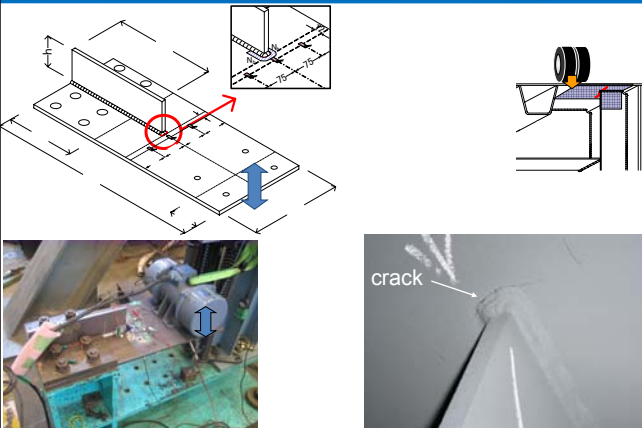
$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K^m - \Delta K_{th}^m) \quad (m \approx 3)$$



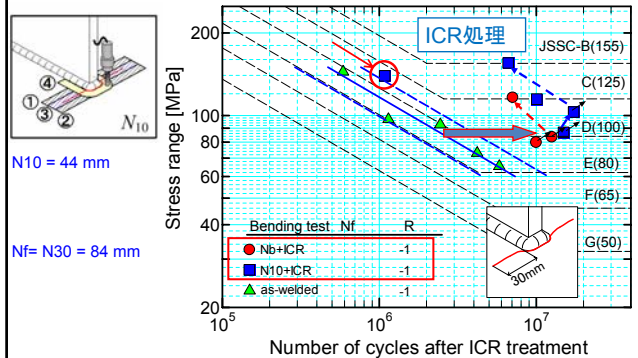
引張の場合, おおよそ3倍の疲労き裂進展寿命

52

垂直補剛材上端≒面外ガゼット溶接継手



ICR処理による疲労き裂の補修・補強効果



疲労き裂を発生させ, ICR処理した後の疲労寿命の補修効果

54

疲労対策あれこれ

- 新設橋を対象としたもの
 - 疲労設計
 - 適切な構造ディテールの選択
- 既設橋を対象としたもの
 - 疲労損傷を防ぐための技術 (補強, 予防保全)
 - 疲労損傷を治すための技術 (補修+補強or補修・補強)
 - 補修・補強設計, 余寿命評価技術**

55

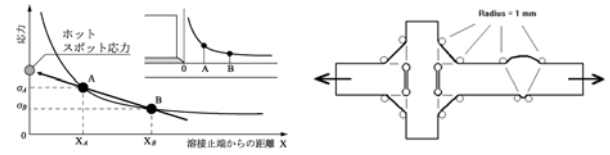
補修・補強設計

○ホットスポット応力(HSS)

○エフェクティブノッチ応力(ENS)

応力測定 or FEM解析

FEM解析



局部応力基準の疲労照査法

公称応力が定義できない場合や継手形状が複雑な場合に有効。
ルートの照査も行える(ENS)。

→補修・補強設計, 余寿命評価, 補強効果の確認などに有効。

56

疲労損傷を受けた鋼橋の耐久性評価および耐久性向上技術

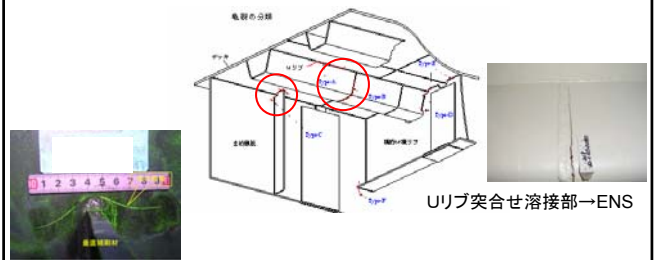


部会長 館石和雄(名古屋大)

57

局部応力基準の疲労照査の適用事例

JSSC T.R.No.84「疲労損傷を受けた鋼橋の耐久性評価および耐久性向上技術」より



Uリブ突合せ溶接部→ENS

デッキプレートと垂直補剛材の溶接部→HSS

58

鋼床版のデッキプレートと垂直補剛材の溶接部

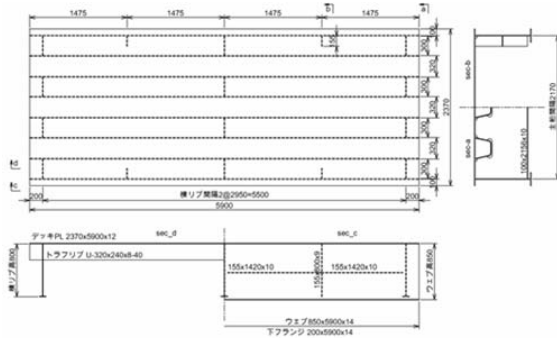


図-4.1 解析対象

59

解析モデル

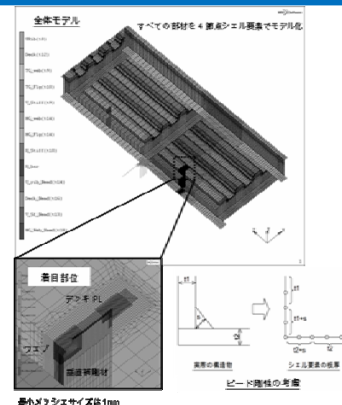


図-4.2 解析モデル

60

対象とした補修・補強方法

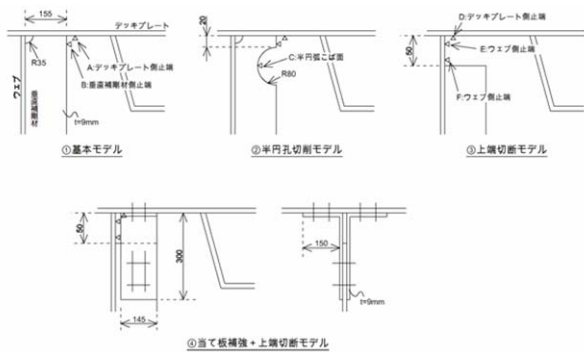
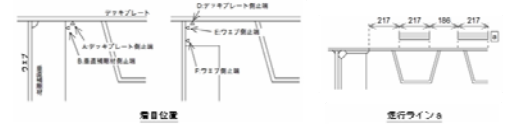


図-4.4 補修・補強方法の寸法指定と HSS 評価位置

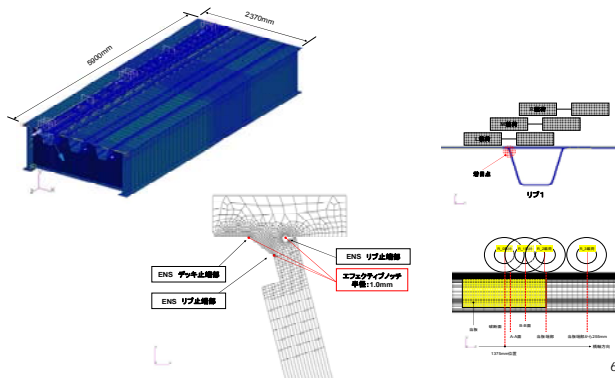
疲労寿命の比

解析モデル	荷目位置		最大HSSでの評価		疲労寿命の比****
	記号	位置	位置	HSS	
基本モデル	A	補強材付-タックPL	タックPL側	76.6	1.0
	B	補強材付-タックPL	補強材側	77.5	
半円孔モデル	A	補強材付-タックPL	タックPL側	48.6	4.0
	B	補強材付-タックPL	補強材側	20.2	
	C	半円孔のこぼ面	-	57.8	
上端切断モデル	D	主桁フランジャー-主桁ウェブ	タックPL側	41.7	32.3
	E	補強材付-ウェブ	ウェブ側	24.3	
当て板・上端切断	D	主桁フランジャー-主桁ウェブ	タックPL側	4.8	43474.2
	E	補強材付-ウェブ	ウェブ側	0.3	
	F	補強材付-ウェブ	ウェブ側	2.2	

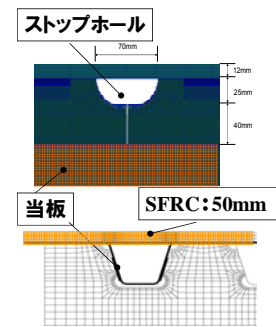
*基本モデルにおける標準補強材付HSSに対する比。斜字が疲労寿命比較に用いた荷目位置。
 **半円孔のこぼ面のHSSではなく最大応力である。
 ***HSS: E等級、こぼ面: 0等級として算出した疲労寿命のHSSを基準して比を算出した。
 ****基本モデルの寿命に対する比。



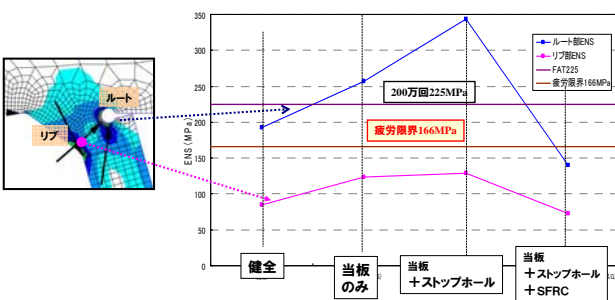
鋼床版のUリブの突き合わせ溶接部



対象とした補修・補強方法



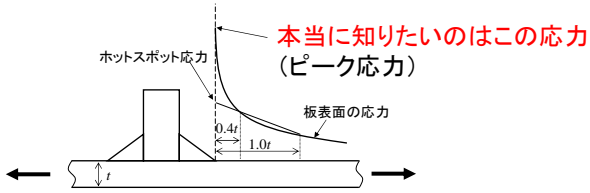
ENSの算出結果



疲労寿命の比

		健全	当板(case_Q)	当板+スカラップ	当板+スカラップ+SFRC
吊り部	最大ENS	192.0	267.3	343.7	140.4
	疲労寿命比	1.00	0.42	0.17	2.56
デッキ止端	最大ENS	25.8	55.5	40.2	32.9
	疲労寿命比	1.00	0.10	0.15	0.49
リブ止端	最大ENS	105.3	203.6	250.1	100.7
	疲労寿命比	1.00	0.36	0.29	2.06

新しい疲労照査用局部応力の提案



でも、測定するのは難しい。
グラインダーで整形すればひずみゲージが貼れる。
でも、そうすると応力の大きさが変わってしまう。

ただ、グラインダー整形後に測定した応力でも・・・

67

提案手法の考え方

◇同種の溶接継手が多数ある場合、そのうちの一つで測定すれば、他の同種継手の疲労強度推定の情報になるのでは？
◇実ディテールを再現した試験体で測定すれば、実ディテールの疲労強度推定の情報になるのでは？

力学上の仮定

○疲労強度が溶接止端部の**弾性応力集中のみ**で説明できる。
○溶接止端部の応力は解析によって求めることができ、グラインダー処理**前後のピーク応力の比**をあらかじめ知ることができる。

これが成り立つとすると・・・

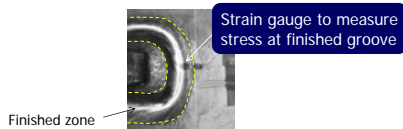


68

提案手法

- 継手の止端をグラインダーで整形。
- ひずみゲージにより応力計測。
- 測定値から溶接まま継手のピーク応力を推定（解析）。
- 疲労強度曲線と照らし合わせ。
- 溶接ままの同種継手の疲労寿命予測が可能。

複雑な継手形状、応力場に対して有効。
HSS法に代わる手法となる。



69

提案手法の実施例

やってみました。

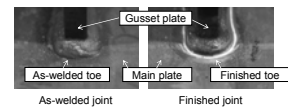
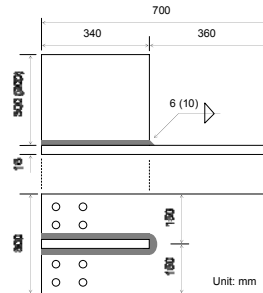


図-3 溶接部の外観

図-1 試験体 (括弧内はType 2)

70

応力集中係数の推定式

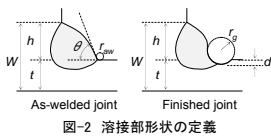


図-2 溶接部形状の定義

溶接まま止端の応力集中係数

$$K_{t,asw} = 5.68 \left(\frac{r_{asw}}{t} \right)^{-0.11} \left(\frac{W}{t} \right)^{0.00028} f_0 + 1$$

$$f_0 = \frac{1 - \exp\left(-0.9 \sqrt{\frac{W}{2K} - 0}\right)}{1 - \exp\left(-0.9 \sqrt{\frac{W}{2K} - \frac{t}{2}}\right)}$$

グラインダー後の応力集中係数

$$K_{t,g} = 1.18 \left(\frac{r_g}{t} \right)^{-0.25} f_0^{0.0001} \left(\frac{W}{t} \right)^{1.26} + 1$$

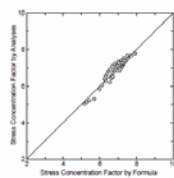


図-11 溶接止端部の応力集中係数の比較

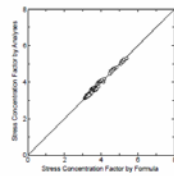
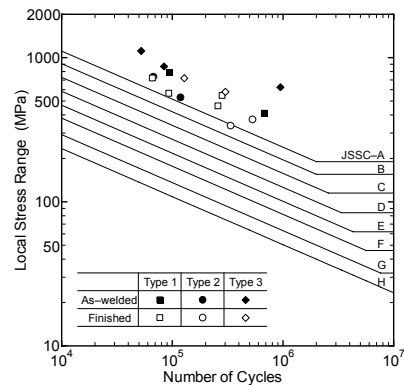


図-13 グラインダー処理部の応力集中係数の比較

71

ピーク応力で整理した疲労試験結果



72

破壊力学による残存寿命評価

以前は2次元が精一杯。
比較的単純な継手，応力場での解析しかできなかった。

最近では・・・

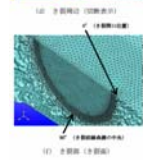
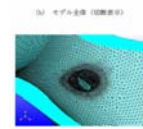
◇FRANC2D(Cornell Fracture Group, Cornell University)
破壊力学によるき裂進展解析コードを含む2次元構造解析プログラム
Cornell Universityなどのサイトから入手可能。
ABAQUS, ANSYS, COSMOS, NASTRANなどとのモデルデータ互換も有り。
FRANC3Dもある。

◇Zencrack(Zentech社, 米)
市販のき裂進展解析ソフトウェア。
ABAQUS, ANSYS, MSC.Marcなどとリンクさせて使用。
(サポートはうち切られた。)

◇他にFINAS/CRACK(CTC), TSV-Pre(㈱テクノスター) など。

73

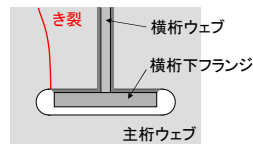
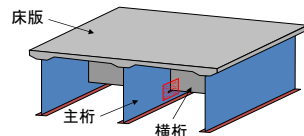
破壊力学による残存寿命評価



74

破壊力学による残存寿命評価事例

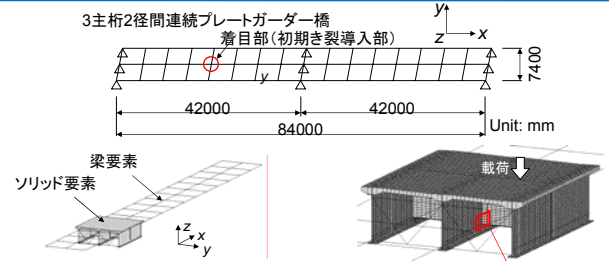
プレートガーダー主桁—横桁交差部の疲労き裂



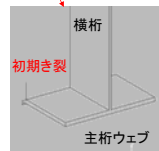
名阪国道の橋梁保全に関する検討
委員会 参考資料より

75

解析モデル

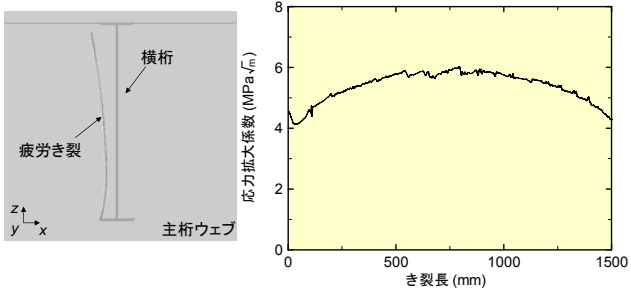


着目部周辺:ソリッド要素
その他の部材:梁要素
初期き裂:スカーラップ端部に鉛直上向き(長さ5mm)
荷重:274kN(正負交替荷重と衝撃の影響を考慮)
鋼材 ヤング係数: 2.0×10^5 , ポアソン比:0.3
コンクリートと鋼材とのヤング係数比:7



76

き裂進展形状と応力拡大係数



77

残存寿命評価のケーススタディ

初期き裂長	5mm
最低使用温度	0°C
鋼材	SM490材
鋼材強度	315MPa (許容応力 185MPa)
シャルピー値(0°C)	14J
ぜい性破壊荷重	死荷重+T-60荷重 (衝撃考慮)
疲労荷重	T-20荷重(衝撃考慮)
日交通量	60000台/日
大型車混入率	50%

78

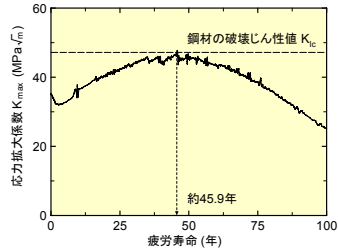
残存寿命評価結果

鋼材の破壊じん性値
Rolfe-Barsomの式
(シャルピー値から推定)

$$\left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_v}\right)^2 = 0.6478 \left(\frac{VE(T)}{\sigma_v} - 0.0098 \right)$$

$$K_{Ic} = \left[0.6478 \left(\frac{14}{315} - 0.0098 \right) \right]^{1/2} \cdot 315$$

$$= 47.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$



79

ここまでのまとめ

◇寿命予測技術

- ✓ 解析によりこれまで難しかったものが評価可能に。
- ✓ 局部応力基準の疲労照査法
破壊力学解析による余寿命推定 などは有望。
- ✓ 補修・補強効果の定量的な評価に使える。
- ✓ ただし実績を積む必要がある。

◇補修・補強技術

- ✓ UIT, ICRなどの新技術に期待。
- ✓ 美しい(汚くない)という視点もあるべき。
- ✓ ルートき裂に対する強度向上は課題。
→溶接補修の出番増?

80

今後の疲労対策の最大の課題

人材の確保, 予算の獲得

81

名古屋大学・NEXCO中日本 橋梁モデル

• N²U-Bridge ニュー・ブリッジ



NEXCO・Central and Nagoya University-
Bridge model with Restoration and
Integrated Deterioration for Global
Engineering

土木工学の危機

わが国の産業を支える基盤技術の維持に向けて
～絶滅危惧分野における人材の育成・確保のための仕組みづくり～
2011年8月

公益社団法人 関西経済連合会
より

1. 基本認識

わが国が激化する国際競争を勝ち抜くためのイノベーションを創出し、新たな社会を創りあげていくためには、これまでわが国の産業を支えてきた基盤技術の維持が必要であるが、冶金・金属工学、電気工学、土木工学などの分野においては研究活動の縮小や人材の減少など絶滅の兆候が見られており、いわゆる絶滅危惧分野の拡大が産業基盤を脆弱化させる懸念がある。

83

橋梁モデルの概要と使い方

- ◇RC T桁 (1935竣工)
- ◇PCホロー桁 (1973竣工)
- ◇鋼版桁橋+RC床版 (1973竣工)

劣化した橋梁 (橋梁モデル) を利用した,

- ① 学生教育
- ② 研究の推進
- ③ 技術者教育
- ④ 技術力認定

橋梁点検技術者養成のためのプログラム開発

84

土木工学の危機

(1) 企業の現状

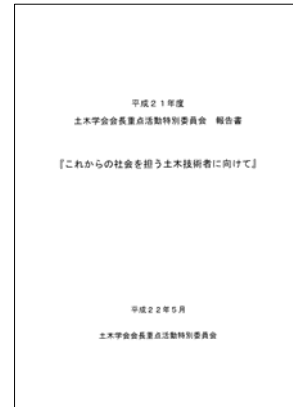
関連の企業を対象に実施した調査では、22社中12社が絶滅危惧分野に対応した業務を有しており、絶滅が危ぶまれる分野として冶金・金属工学（4件）、土木工学（4件）、鍛造（3件）、化学工学（1件）、強電系学科（1件）、溶接工学（1件）などをあげている。

(2) 大学の現状

大学における冶金・金属工学科、電気工学科、土木工学科などの絶滅危惧学科は、例えば冶金・金属工学科であれば「材料・素材」、電気工学科であれば「電子・情報システム」、土木工学科であれば「地球環境」といったように学生を確保するため研究や教育内容に先端分野を取り入れ、それに合わせて学科名を変更するなど大学の創意工夫によって維持されている。

85

土木学会の提言



86

要求される教育科目

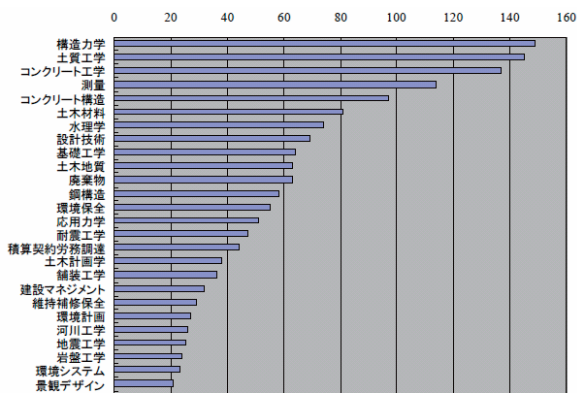


図4.2 建設業が若手技術者に要求する教育科目

87

学んでおいてよかった科目

№.	科目	総合建設業	コンサルtant	自治体	計	(総合建設業+コンサルtant+自治体)
1	構造力学	88.2%	37.7%	69.4%	69.7%	89.7%
2	土質工学	80.7%	38.8%	80.6%	68.3%	80.2%
3	コンクリート工学	78.2%	14.9%	41.7%	53.6%	53.6%
4	測量	47.7%	15.8%	30.6%	35.4%	35.4%
5	水理学	22.3%	52.6%	41.7%	34.3%	34.3%
6	コンクリート構造	36.5%	7.0%	5.6%	23.6%	23.6%
7	土木材料	23.9%	1.8%	22.2%	18.4%	18.4%
8	鍛造	15.7%	3.5%	2.8%	10.4%	10.4%
9	応用力学	9.6%	5.3%	5.6%	7.8%	7.8%
10	河川工学	0.5%	20.2%	0.0%	6.9%	6.9%
11	環境保全	3.6%	12.3%	5.6%	6.6%	6.6%
12	土木計画学	2.5%	12.3%	5.6%	6.1%	6.1%
13	基礎工学	1.0%	9.6%	19.4%	5.0%	5.0%
14	交通計画	0.0%	10.5%	13.9%	4.9%	4.9%
15	建設マネジメント	1.5%	7.0%	13.9%	4.6%	4.6%
16	舗装工学	2.0%	4.4%	8.3%	3.5%	3.5%
17	新築工学	2.5%	5.3%	0.0%	3.2%	3.2%
18	水工学	0.5%	7.0%	5.6%	3.2%	3.2%
19	海浜工学	1.5%	7.0%	0.0%	3.2%	3.2%

図4.3 学んでおいてよかった科目

88

おわりに

土木（絶滅危惧分野）、構造（学んでおくべき科目Top）に携わる大学人として責任を感じています。これからもよろしく願いいたします。

ご静聴ありがとうございました。

89