

第 6 回 定 期 研 究 会

平成 16 年度 S G S T 第 6 回研究会議事録

日時 : 平成 17 年 2 月 22 日 (火) 15:00~17:00

場所 : 大同工業大学 滝春校舎 A 棟 14 階 会議室

講師 : 題目① : 名古屋工業大学工学部社会開発工学科教授 長谷部宣男氏

題目② : 川田工業(株)橋梁事業部タコマプロジェクト課長 内海 靖氏

出席者 : 安藤 (瀧上), 飯田 (名公社), 小川 (名古屋道路エンジ), 嘉津 (川田テクノ), 加藤 (瀧上), 葛 (名大), 古田土 (トピー), 事口 (大同工大), 清水 (信州大), 鈴木 (愛工大), 園部 (J I P), 田中 (J I P), 長屋 (トピー), 能登 (J F E), 長谷部 (名工大), 原田 (創建), 藤澤 (日本建設 C), 水澤 (大同工大), 森田 (トピー), 吉田 (川田工業), 中川 (瀧上) 計 21 名 敬称略

1. 定期研究会 (水澤研究会担当幹事)

講演題目

題目 1 : 「切り欠きの力学」

【講演概要】

隅角部に丸みを有する切り欠きの応力集中の一般式, 鋭い隅角部における隅角部の強さと応力集中式の関係, 隅角部から発生したクラックの応力拡大係数との関係についてご講演された。応力集中部に少しの丸みを持たせるだけで, 応力集中を大きく低減できることが計算式からも導かれており, 隅角部の溶接仕上げが, 応力集中に対して非常に有効であると再認識できた。また, 高度な解析手法を用いなくても発生応力が算出できる計算式の紹介など, 非常に興味深い内容であった。

題目 2 : 「New Tacoma Bridge」

【講演概要】

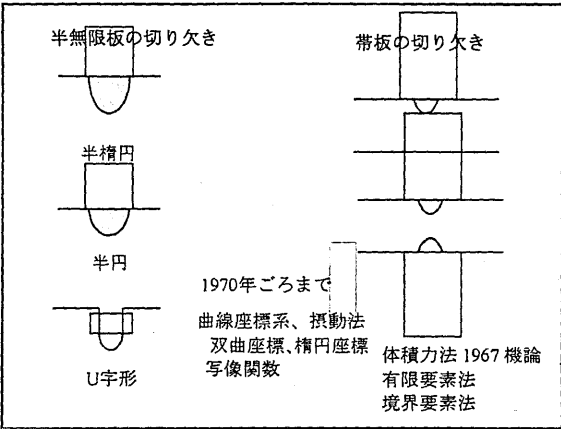
初代タコマ橋は, 1940 年に強風による激しい振動のため竣工後わずか 4 ヶ月で崩壊した。本橋は, 崩壊したことが何よりも有名であるが, その後の耐風工学の発展に大きな影響を与えたという意味において非常に重要な橋梁の一つである。

現在供用中のタコマ橋は, 初代タコマ橋が崩壊した 10 年後に完成し, 54 年経った現在でも供用されている。しかし, 交通量の増大に伴う慢性的な渋滞が起きているため, これを解消する目的で新橋 (New Tacoma Bridge) が建設されることとなった。新橋は, デザインビルド方式で 2002 年 10 月に着工し, 2007 年に完成する予定で現在建設が進められている。講演では, 初代タコマ橋の崩壊映像記録の紹介やタコマ橋に関する歴史的経緯の紹介, また, 現在建設中の新タコマ橋に関する工事概要, ならびに米国における建設業界の仕組みについての紹介があり, 大変興味深いものであった。

以上//

# 切り欠きの力学 (Notch Mechanics)

名古屋工業大学  
長谷部宣男



平面

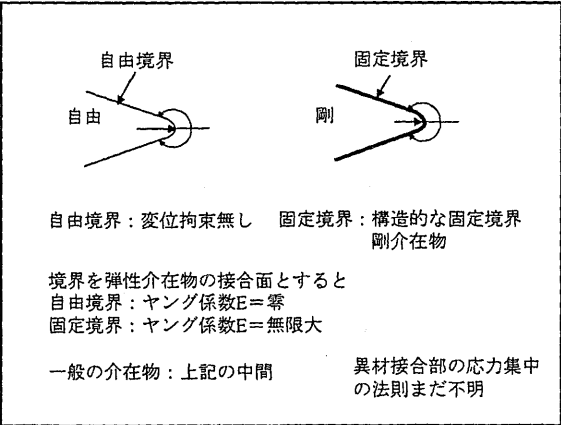
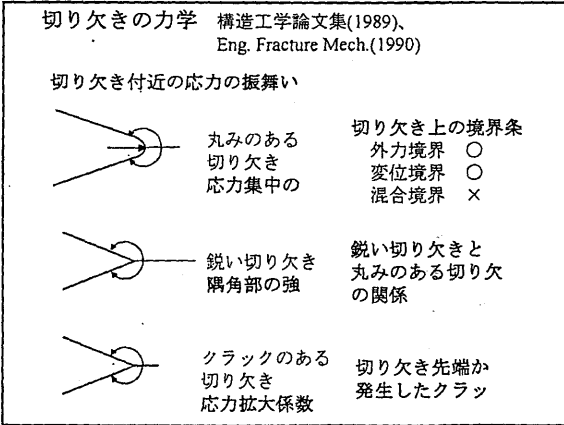
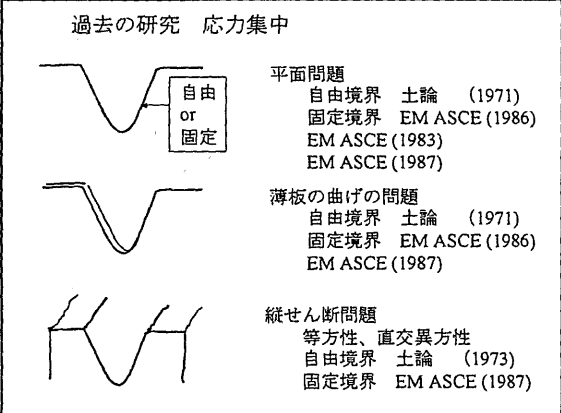
- Maunsell (1936) Philosophical Magazine
- Isibasi (1940) Memoris of Faculty of Eng. Kyushu Imp. Univ.
- Weinel (1941) Z. Angew. Math. Mech.
- Ling (1948) Jour. Math. Phys.
- Higuchi and Suzuki (1949) Tep. Tohoku Univ.
- 鶴戸口 (1950) 機論
- 清家 (1959) 機論、(1960) Ing. Archiv
- Nomura (1959) 機論
- 岡林 (1966), (1967) 名工大学報

薄板

- 玉手・塩谷 (1958) 機論
- Shioya (1959) Z. angew. Math. Mech.
- Shioya (1960) Ing. Archiv

本

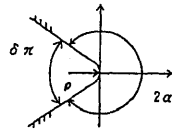
- Neuber (1937) Kerbspannungslehre Julius Springer
- Savin (1961) Pergamon press
- Ling (1978) Stress analysis of notch problem, Chap. 3 ed. 5th
- Bowie (1978) ibid, Chap. 2 mapping function
- Nisitani (1978) ibid Chap. 1 body force method



応力集中：局所的現象  
 応力集中ヶ所：先端に丸みを有するV字形にモデル化  
 主要な因子：隅角部角度  $2\alpha$ 、先端での曲率半径  $\rho$

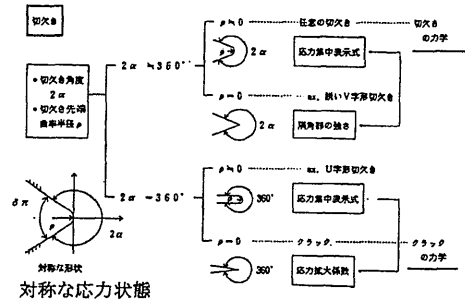
隅角部での一般の応力状態：隅角部2等分線に関して  
 対称な応力状態 + 逆対称の応力状態

隅角部2等分線に  
 対称な応力状態の一般的な法則

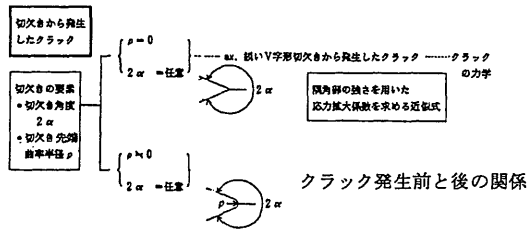


逆対称の応力集中の法則はまだ不明

切り欠き因子間の関係



クラックの力学と切り欠きの力学との関連



クラック発生前後の関係

鋭い切り欠き先端付近の応力成分 Williams, M.L.(1952)

・平面問題 ・自由境界 ・切り欠き2等分線に对称

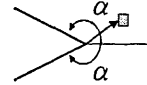
$$\sigma_r = -\sum (m_j + 1) r^{m_j} \{ B_j (m_j - 2) \cos m_j \theta + D_j (m_j + 2) \cos (m_j + 2) \theta \}$$

$$\sigma_\theta = \sum (m_j + 1) (m_j + 2) r^{m_j} \{ B_j \cos m_j \theta + D_j \cos (m_j + 2) \theta \}$$

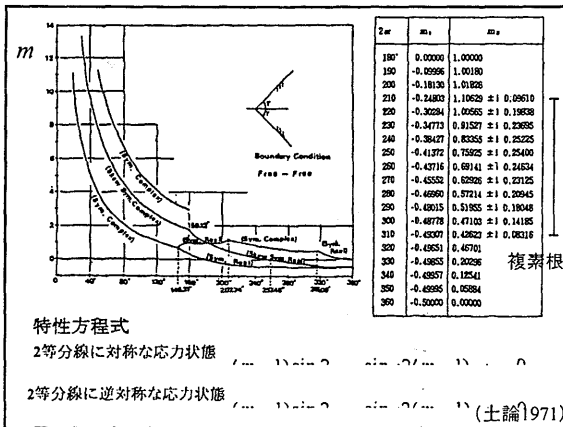
$$\tau_{r\theta} = \sum (m_j + 1) r^{m_j} \{ B_j m_j \sin m_j \theta + D_j (m_j + 2) \sin (m_j + 2) \theta \}$$

ここで  $B_j \cos m_j \alpha + D_j \cos (m_j + 2) \alpha = 0$

$B_j, D_j$  は荷重条件から決まる係数



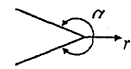
$m_j$  は特性方程式の根： $(m+1) \sin 2\alpha + \sin \{2(m+1)\alpha\} = 0$   
 $m_j$  は  $\alpha$  のみに依存  $2\alpha \geq 180^\circ$  のとき  $m_j$  は  $0 \geq m_j \geq -0.5$



特性方程式  
 2等分線に対称な応力状態 ...  
 2等分線に逆対称な応力状態 ... (土論1971)

隅角部の応力の強さ  $f_0$

対称軸上の応力 ...

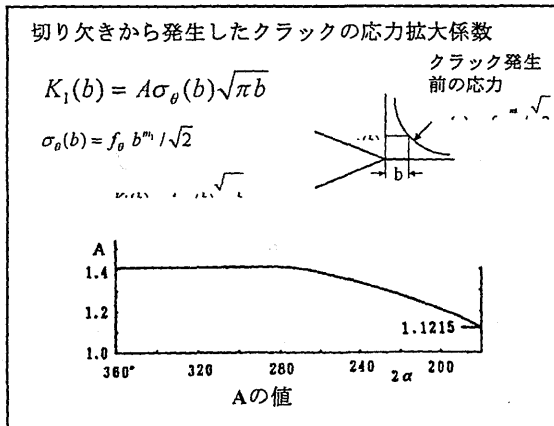
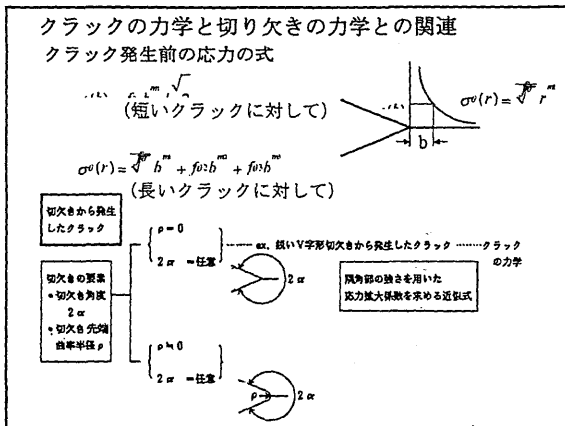
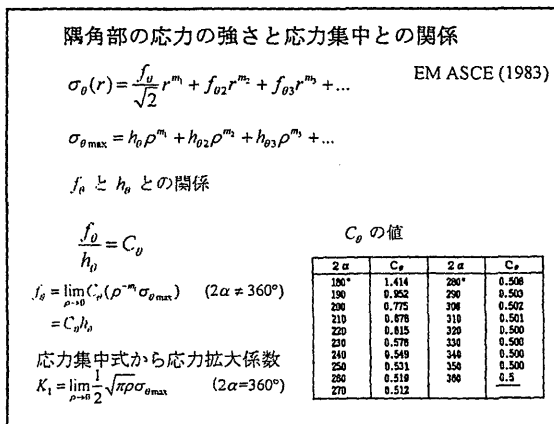
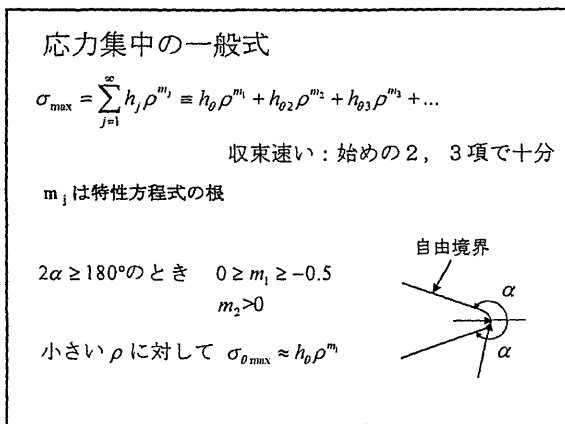
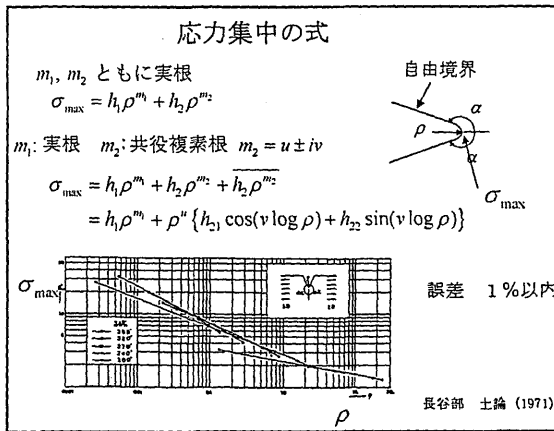
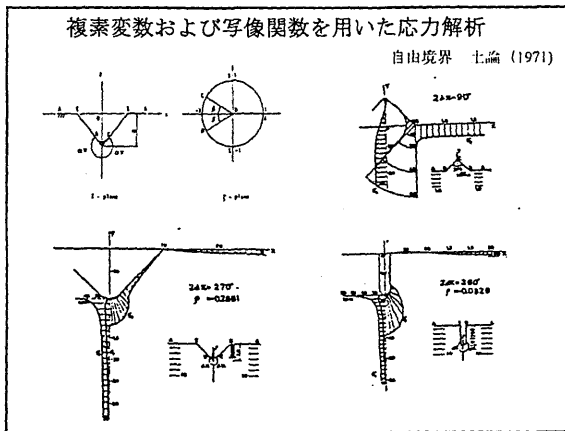


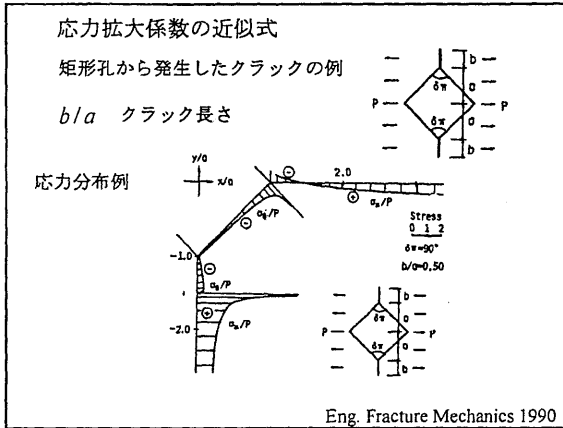
$$\sigma^\theta(r) = \sigma^\alpha(r) = \sum (m_j + 1) (m_j + 2) r^{m_j} (B_j + D_j)$$

$$\equiv \sqrt{f_0} r^m + f_0 2r^{m_2} + f_0 3r^{m_3} + \dots$$

$$\sigma^\theta(r) = \sqrt{K_t} + f_2 + f_3 r^{1/2} \dots$$

が判れば  $B_1, D_1$  が判る。応力成分が判る。  
 逆に切り欠き先端の応力成分の値が判れば、 $B_1, D_1$  が判るので ... が判る。





短いクラック応力拡大係数の近似式  
 $\delta\pi = 90^\circ (2\alpha = 270^\circ)$   
 $K_1 = F_1 p \sqrt{\pi(a+b)}$   
 $f_0 = 0.892 m_1 = -0.4555$   
 $F_1 = A \cdot f_0 \cdot (b/a)^{m_1} \sqrt{b/(a+b)}$

Table 4. Values of  $F_1$  and their errors for  $\delta\pi = 90^\circ$

$b/a$ ( $a/b$ )	(1)†	Eq. (19) (2)	Error(%) [(2)-(1)]/(1)	(3)‡	Error(%) [(3)-(1)]/(1)	
0.0051	0.969	0.980	1.1	1.000	3.2	
0.0134	1.012	1.019	0.7	1.000	-1.2	
0.0207	1.026	1.035	0.9	1.000	-2.6	
0.0478	1.053	1.060	0.7	1.000	-5.0	
0.0950	1.066	1.068	0.2	1.000	-6.2	
0.153	1.070	1.063	-0.7	1.000	-6.5	
0.222	0.222	1.068	1.050	-1.7	1.000	-6.4
0.473	1.053	0.988	-6.2	1.000	-5.0	
0.623	1.045			1.000	-4.3	
0.804	1.037			1.000	-3.6	
(0.976)	1.029	↑	誤差	1.000	-2.8	
(0.769)	1.022	↑	誤差	1.000	-2.2	
(0.404)	1.008	↑	誤差	1.000	-0.8	
(0.322)	1.006	↑	誤差	1.000	-0.6	
(0.0)	1.000	↑	誤差	1.000	0.0	

解析解 ← 無限板中クラック →

より長いクラックの応力拡大係数の近似式  
 $K_1 = A \cdot \sigma(b/a) \sqrt{\pi b}$   
 $\sigma(b/a) = B \cdot (b/a)^m + C \cdot (b/a)^n [\cos\{v \cdot \log(b/a)\}] + D \cdot (b/a)^p [\sin\{v \cdot \log(b/a)\}]$  (3項採用)

$m_1 = -0.4555$   
 $m_2 = u + iv = 0.6293 + i0.2313$

$b/a$	$F_1$	Eq. (21) $F_1'$	Error(%) $(F_1 - F_1')/F_1$
0.0051	0.969	0.974	0.5
0.0134	1.012		
0.0207	1.026	1.027	0.1
0.0478	1.053	1.053	0.0
0.0950	1.066		
0.153	1.070	1.069	-0.1
0.222	1.068		
0.473	1.053	1.063	0.9
0.623	1.045	1.065	1.9
0.804	1.037	1.073	3.5

誤差 2% 以下

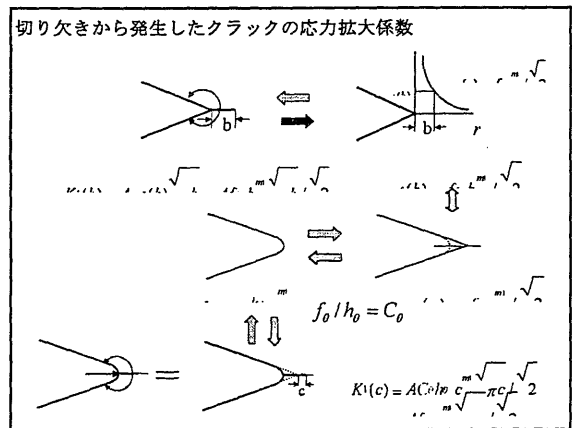
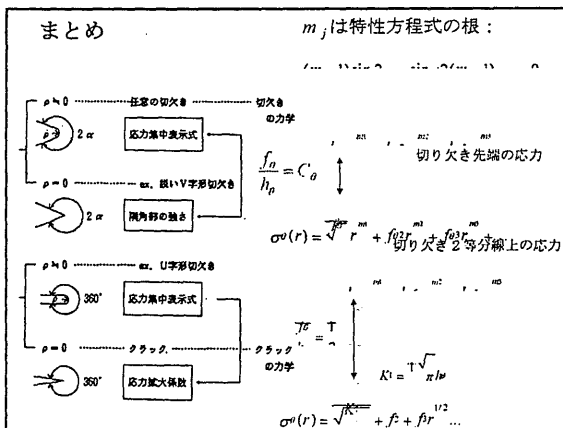
$F_1' = A \cdot \sigma(b/a) \times \sqrt{b/(a+b)}$

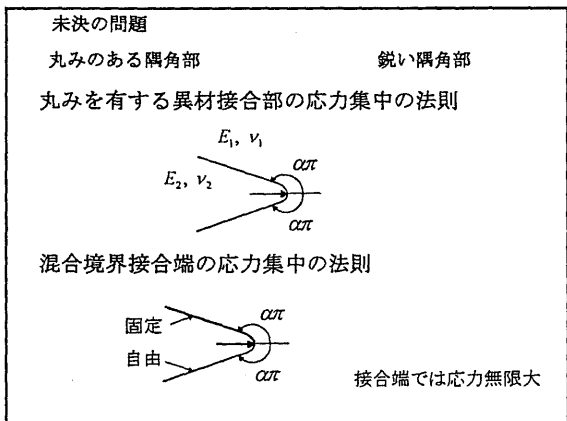
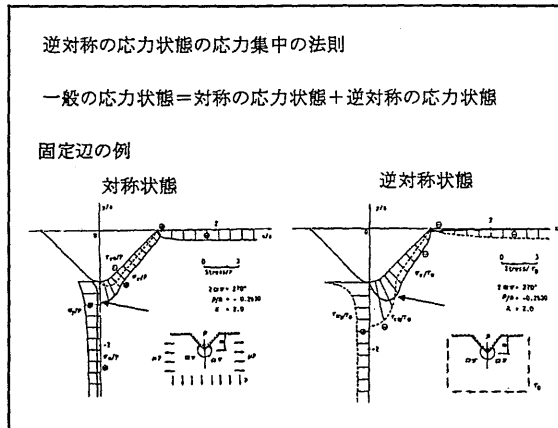
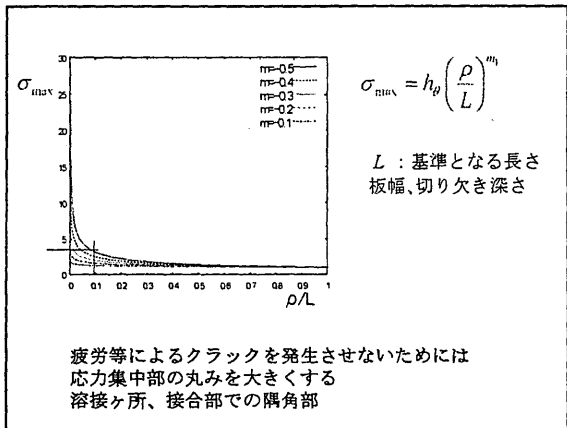
隅角部の応力の強さ  $f_0$  を用いた評価

Dimensionの問題  $\sigma_\theta(r) = f_0 r^{m_1} / \sqrt{r}$   
 $f_0$  角度ごとにDimensionが違う。 (-0.5 ≤  $m_1$ )  
 角度ごとに破壊靱性値を代える必要

$K_1(b) = A f_0 b^{m_1} \sqrt{\pi b} / \sqrt{2} \leq \frac{A f_0 \sqrt{\pi} / \sqrt{2}}{A f_0 b^{0.5+m_1} \sqrt{\pi} / \sqrt{2}}$  式(a)

方法1 適当なクラック長さ  $b$  に対する応力拡大係数を使用  
 問題点  $b$  の選び方  $b \rightarrow 0$  のとき  $K_1(b) \rightarrow 0$  となる。  
 方法2 式(a)の上限値を使う。





講演題目：「New Tacoma Bridge」

講演： 内海 靖 川田工業株式会社橋梁事業部プロジェクト 課長

略歴：昭和 34 年北海道生まれ、昭和 56 年法政大学工学部卒業、昭和 56 年川田工業株式会社入社、技術研究室・室長を経て現在に至る。

主な担当工事：明石海峡大橋補剛桁その 4 工事・設計担当技術者。

学会・協会等：土木学会・鋼構造委員会・鋼構造物の性能照査型設計法に関する調査特別小委員会委員、日本橋梁建設協会・製作研究委員会・無塗装橋梁部会委員

著 書：「現代の吊橋(理工図書)川田忠樹他と共著」

「超長大橋時代の幕開け(建設図書)伊藤學・川田忠樹他と共著」

キーワード： 鋼構造物、吊橋、海外工事

講演内容：

1. Tacoma Bridge の歴史
2. New Tacoma Bridge の工事概要
3. New Tacoma Bridge の構造概要

講演概要：

初代 Tacoma Bridge は、1940 年 7 月 1 日に竣工して、当時としては世界第 3 位のスパン長を誇った長大吊橋であったが、竣工後わずか 4 ヶ月で、19m/s の強風により激しい振動を誘起し、あっけなく崩壊してしまった。初代 Tacoma Bridge は吊橋の耐風工学の発展に寄与した橋梁として有名である。その後、1948 年から 1950 年に現在の Tacoma Bridge が建設され、54 年経った現在も供用している。

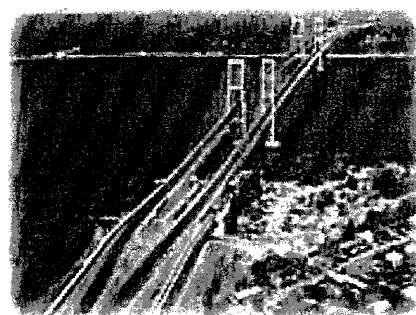
現在の供用中の橋梁は、交通量の増大に伴い、慢性的な渋滞が起きているため、これらを解消するために、新橋を建設することとした。New Tacoma Bridge はデザインビルト方式で 2002 年 10 月に着工し、2007 年に完成する予定で現在、建設が進められている。New Tacoma Bridge の構造は、主塔がコンクリートで補剛桁はトラス構造である。また、床版は鋼床版で上弦材と溶接で完全に一体になった構造となっている。ここでは、工事概要と構造および現在の施工状況などについて紹介する。

開催団体： 東海構造研究グループ(Study Group of Structures in Tokai)

東海構造研究グループは、官学民の枠を外し、土木構造に関するあらゆる領域について研究する団体です。構造に関する諸団体(官公署、企業)および構造に関する業務あるいは研究に携わる大学、個人により構成されています。立場を異にする会員間の相互理解や親睦を深めるのにも大きな役割を果たしています。昭和 53 年創立。年 6 回の定期研究会の他、3 つのワーキンググループ活動、特別講演会等を行っております



## New Tacoma Narrows Bridge の概要



### プロジェクトの概要

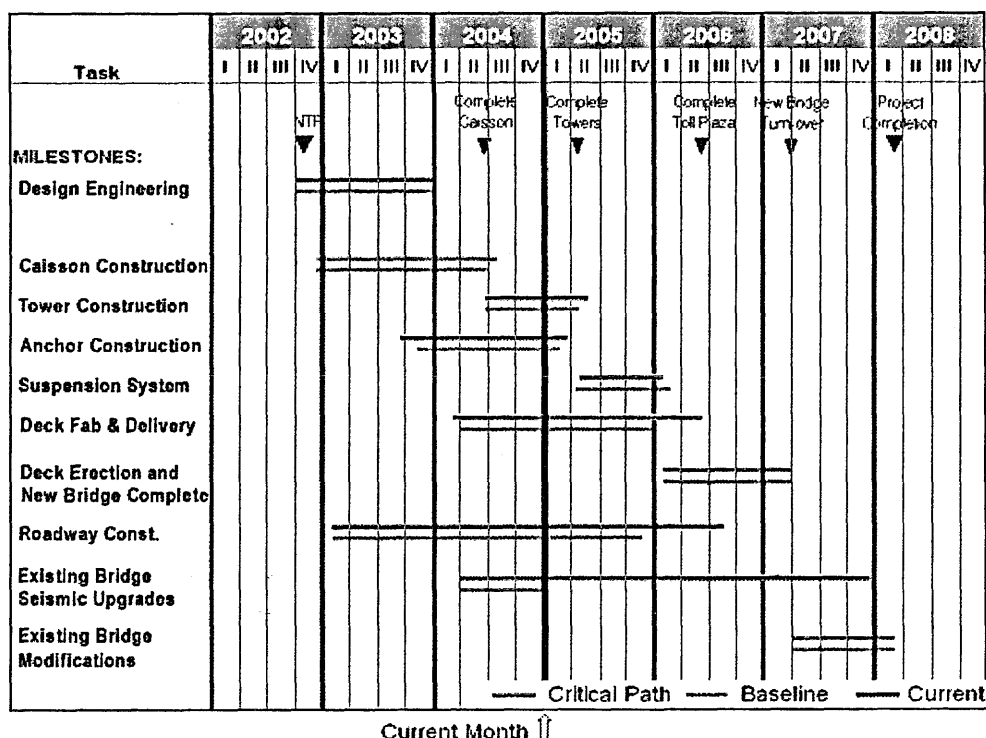
現在供用中の橋と平行に新しい吊橋が米国のワシントン州運輸局（WS-DOT）によって建設されています。車線数は3車線で、自転車と歩行者のため歩道が設置されています。また、新しい橋は、将来、ダブルデッキに改造できるように設計されています。さらに、現在、供用中の橋は、耐震補強などのリニューアル工事を行います。また、本プロジェクトはSR16（州道16号線）の改良工事を含んでおり、施工範囲は吊り橋部を含む3.4マイルです。

### New Tacoma Narrows Bridge の必要性

SR16 の交通量の増加により、ラッシュアワー時の交通量が道路の許容量を超えたため、対策が必要となりました。現在の交通量は8万5000～9万台/日ですが、2020年には12万台/日まで増加することが予想されています。

### プロジェクトスケジュール

本橋は2002年11月に着工し、約5.5年後の2007年に開通する予定です。その後、現在供用中の橋の改修工事を継続して行い、全てが完成するのは2008年になります。

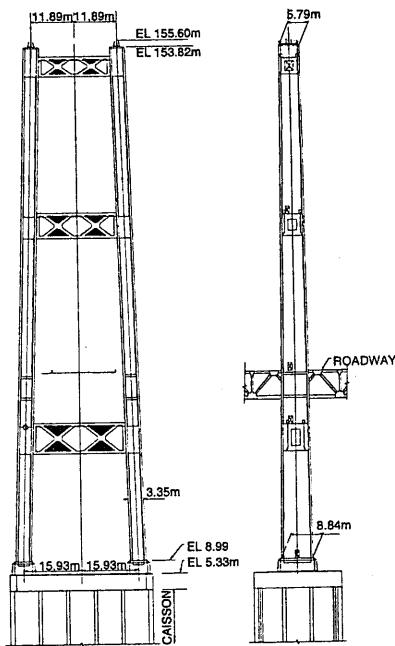
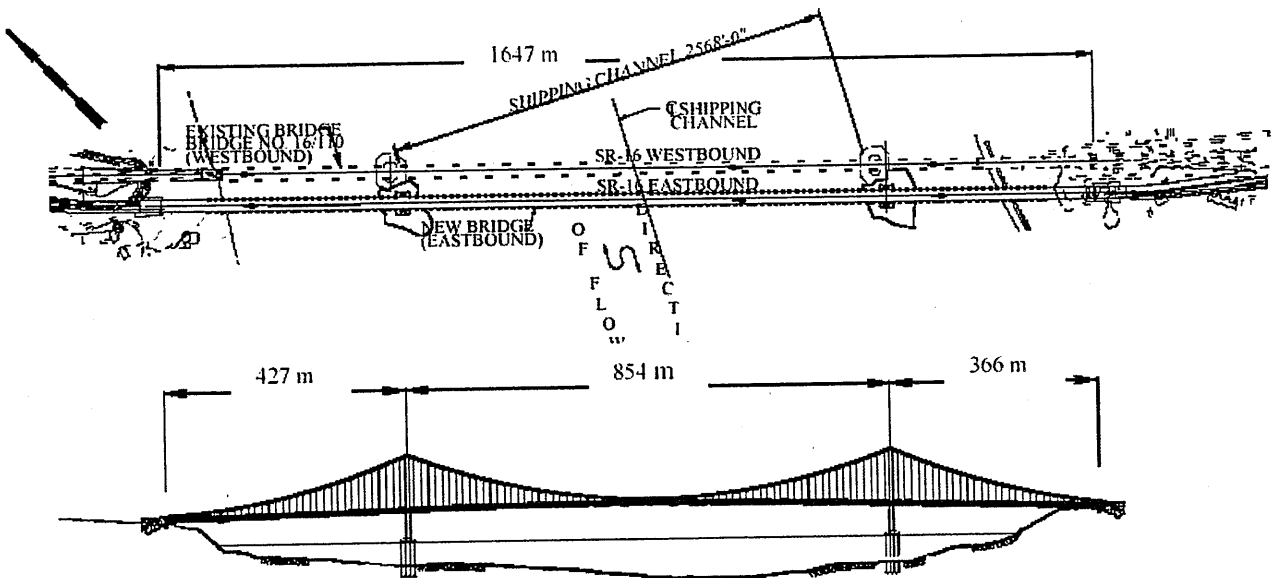


### 工事費用

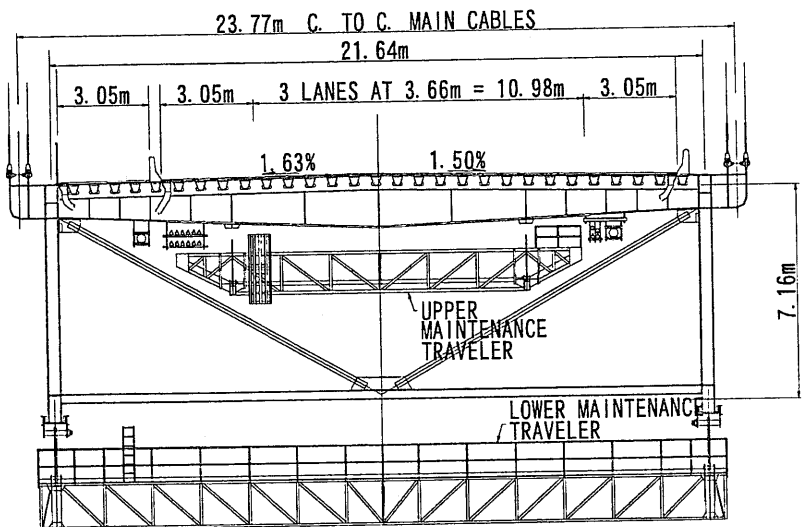
本プロジェクトは2002年11月の着工し、現在、想定している総費用は、取付道路、新橋の橋梁区間の上下部一式、現橋のリニューアル含み、8億4900万ドルです。

**構造概要**

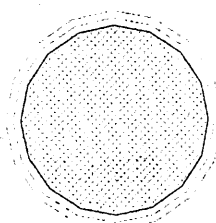
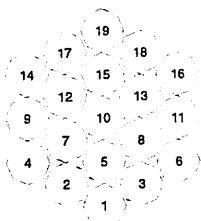
- ・ 形 式 : 3 径間連続補剛トラス吊橋
- ・ 橋 長 : 5400ft (m)
- ・ 中央径間 : 2800ft (m)
- ・ 主 塔 : RC 製
- ・ ケーブル : PWS (直径 50cm)
- ・ 鋼 重 : 補剛トラス 約 18,000tf、ケーブル 約 5,0000tf



主塔 (RC 製)



補剛トラス (将来はダブルデッキ)



主ケーブル (19 ストランド、直径 50cm)