

I - 99

著しいせん断ひび割れを有した布部大橋の再現実験計画について

ハザマ技術研究所 正会員 坂田 英一
 (株) 土木技術コンサルタント 正会員 三好 章仁
 北海道開発局開発土木研究所 正会員 佐藤 昌志
 北海道大学 フェロー会員 角田史雄

1. はじめに

布部大橋は、一般国道38号線富良野市字布部に位置し、空知川をわたる橋長250mの鉄筋コンクリート箱桁であり、昭和33年に完成している。設計上の特徴としては、道内で初めて異形鉄筋が使用されたこと、および、箱桁のせん断力はすべてスターラップで受け持つものとしたことが挙げられる。

脱型時に発生したと伝えられる標題のひびわれについては、昭和41年以降追跡調査されると共に、発生原因として、1) V_c が桁自重により作用したと考えられるせん断力 V に比して小さいこと、2) 早期に支保工の撤去あるいは沈降が生じた可能性があることが挙げられている¹⁾。ここでは、これらの要因が布部大橋のひび割れ発生に及ぼした影響を、 V_c/V および自重作用のスピードをパラメータとして、1/3 の梁模型により確認するための実験計画について紹介する。

2. 実橋のひび割れ状況

図-1に、本橋梁の全体図を示す。また、供用開始前に、自重が作用した時点で発生が確認された単純箱桁Hのひび割れの例²⁾、およびその支間中央桁断面を、各々図-2、図-3に示す。なお、発生当初のひび割れ性状に関する詳細なデータはみられないが、支間中央の曲げひび割れの平均間隔は330mm程度であり、軸方向鉄筋を異形鉄筋とした場合の土木学会式³⁾による最大ひびわれ間隔(367mm)を若干下回る程度である。また、支間の1/4付近には曲げせん断ひびわれが、支点近傍にはウェッジせん断ひび割れが確認されている。

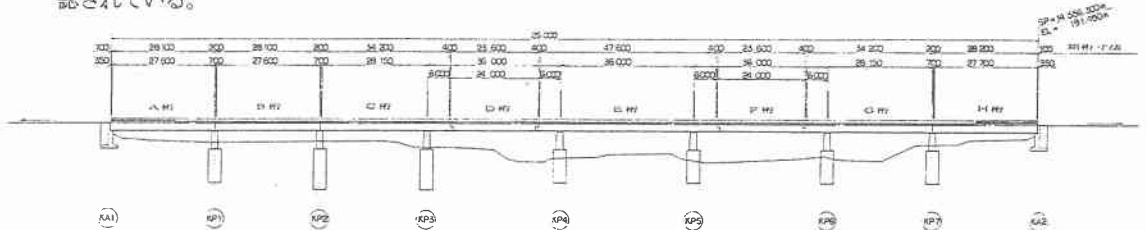


図-1 布部大橋全体図(上流側)

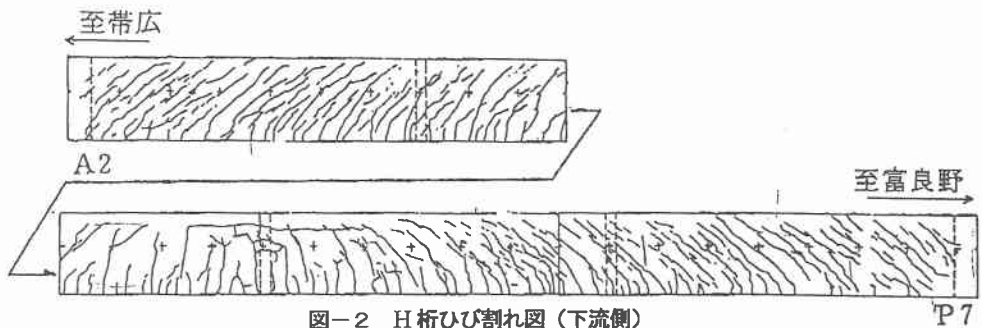


図-2 H桁ひび割れ図(下流側)

A Plan of Experimental Verification for Striking Shear Cracks in Nunobe Bridge

By Eiichi Sakata, Akihito Miyoshi, Masashi Sato, Yoshio Kakuta

3. 実験計画概要

3. 1 相似則

実構造物において、弾性範囲内では、物理量の間に以下の関係が成立する。

すなわち、応力に関しては

$$\sigma = M/Z = w l^2 / 1^3 = (\rho l^2) / l = \rho l \quad (1)$$

変位に関しては

$$\delta = w l^4 / EI = (\rho l^2) l^4 / E l^4 = \rho l^2 / E \quad (2)$$

したがって、相似則として式 (3), (4)

$$\sigma = \sigma' \quad (3) \quad \delta / \delta' = l' / l \quad (4)$$

を成立させる必要条件は、式 (5), (6) で与えられる。

$$\rho' = (l / l') \rho \quad (5) \quad E' = E \quad (6)$$

ここに、 σ , σ' : 実構造物, 模型において自重により発生する応力の代表値

δ , δ' : 実構造物, 模型において自重により発生する変位の代表値

l , l' : 実構造物, 模型における長さの代表値

ρ , ρ' : 実構造物, 模型の密度

E , E' : 実構造物, 模型の弾性係数

3. 2 実験要因

本実験の背景として、実橋における支保工撤去または支保機能が消失した時期（コンクリート材令）、さらに自重が箱桁に完全に作用するのに要した時間（載荷速度）に関する正確な情報がない。しかし、これら2つの要因は、底型枠脱型時に

おけるひび割れの発現あるいはその性状に大きく影響を及ぼしたものと考えられる。そこで、本実験では、作用荷重に対するひび割れ抵抗強度の余裕度としての指標 V_c / IV を材令強度に関連する主要因とし、上述の相似則を考慮した自重相当の荷重の載荷速度を副要因とすることとした。表-1に、計画する試験ケースを示す。すなわち、4体の試験体は、形状・寸法・配筋とも全て同一であり、コンクリート配合と加力日材令のみが異なる。

次に、表-1に関連して、試験体における指標 V_c / IV の算定位置とその目標値の設定根拠について述べる。死荷重作用時にスターラップの作用応力を測定した平成3年度の調査報告³⁾によれば、単純桁 ($L=28\text{m}$) の支点から $L/4$ 位置でスターラップと交差する 0.8mm 幅のひび割れ近傍での測定値が最も高く、 1302μ であった。そこで、実橋の支点距離 $L/4$ における V_c / IV を、コンクリートの設計基準強度 ($=195\text{kgf/cm}^2$) から下記の土木学会式³⁾ ($\gamma_c = \gamma_b = 1.0$) を用い算定した結果、 $V_c = 95.9\text{tf}$, $V_c / IV = 0.90$ の値を得た。実際には、支保機能が消失した時の材令が不明確であることから、試験体では原則として試験時強度の調整により V_c / IV が 0.90 前後 ($1.0, 0.9, 0.7$) となるように設定することとした。

$$V_c = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vc} \cdot b_w \cdot d \quad (7)$$

また、模型の寸法比が $1/3$ であることから、上述の相似則上、等分布荷重を補う目的で使用する付加マスは試験体重量の2倍程度であるが、式 (7) 中の β_d にみられるせん断強度に及ぼす部材の寸法効果を考慮に入れ、付加マスとしては、 $3 \times 3^{1/4} - 1 = 2.95$ より試験体重量の3倍程度を与えることとした。

3. 3 試験体形状

試験体の形状・寸法を図-4、図-5に示す。試験体形状は、実橋単純桁の中央ウエップの有効幅区間

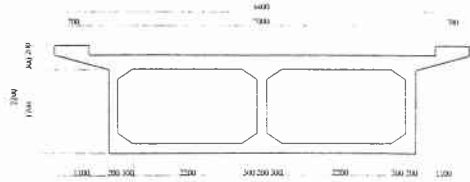


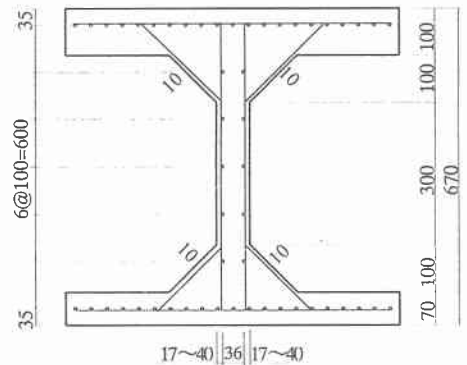
図-3 単純箱桁支間中央断面図

表-1 試験ケース一覧

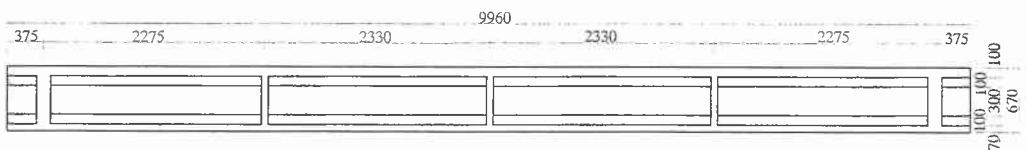
試験体	コンクリート配合強度 (MPa)	コンクリート加力日強度 (MPa)	V_c / IV	ジャッキダウン終了までの所用時間
No.1	22	22	1.0	瞬時
No.2	22	22	1.0	半日
No.3	15	15	0.9	半日
No.4	15	10	0.7	半日

を、軸方向・高さ方向・断面方向のすべてに 1/3 に縮小したものとし、長さ 9960mm、有効高さ 635mm、ウエップ最小厚さ 70mm とする。

また、主桁正曲げ鉄筋については実橋が D38 であったのに対し D13 を使用し、面積比を約 1/9、形状比を約 1/3 とし、さらに実橋と同様の位置でカットオフし曲げ上げおよび曲げ下げは行わないこととする。スターラップについては、実橋が D16 を配置したのに対し D6 を使用し、面積比を約 1/9 とする。



図－４ 試験体断面形状図



図－５ 試験体側面形状図

表－２ 実橋の配合条件

セメント量 (kg/m ³)	370	水セメント 比 W/C(%)	45～50	G/S	1.78
細骨材	比重 2.72 粗粒率 3.35	粗骨材	比重 2.76 粗粒率 7.65		

３．４ 使用材料

当時、鉄筋については SSD49 が使用されており、平成４年の抜き取り調査では、力学特性・化学特性は当時の規格値を満たし、現在の SD295A 相当であったこと、また、疲労特性は節形状の影響が現在の SD295A より若干低いものであったと報告されている²⁾。本実験では疲労特性を問題としないため、SD295A 規格のものをを用いることとした。

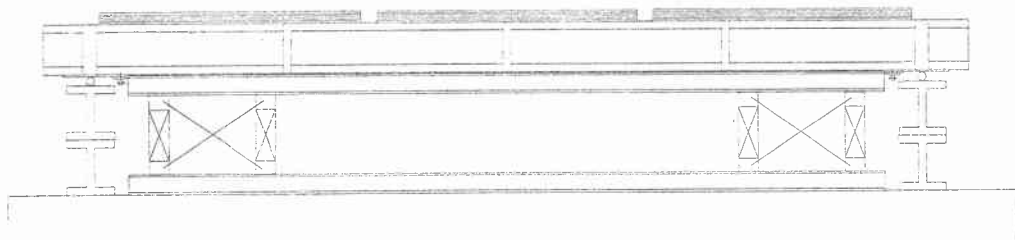
コンクリートについては、表－２に示す配合条件とスランプ 5～10cm のものが使用されたことが文献⁴⁾に記されているが、セメント量・水セメント比からは、実測のコア強度 (220kgf/cm² 程度) が幾分低めの感がある。また、実橋に顕著なジャンカ痕は確認されていないものの、桁ウエップ厚さは最も薄いところで 200mm (軸方向鉄筋の純間隔: 95mm、かぶり: 25mm) に対して、Gmax40mm の川砂利が使用されていること、当時の施工管理水準などが定かではないことなどから、材料分離を招いた可能性も考えられた。

しかし、試験体では、再現が困難かつ不確かな要因を排除する目的で、高流動コンクリートを用いることとし、型枠の一部にアクリル材を使用しその充填性についても確認することとした。なお、今回、設計基準強度として 150kgf/cm²、220kgf/cm² 程度を目標としていること、および製造上の容易性を考慮して粉体 (セメント) 量の少ない、増粘剤系の高流動コンクリートを選定する。

３．５ 載荷要領と測定項目

図－６に載荷要領の模式図を示す。

打設時には、板厚 12mm の鉄板を、試験体の両端に設けられる支持点の間で取り外し可能な底型枠として用いる。打設後、試験体は、鉄板下を数カ所の油圧ジャッキで支持され、コンクリート強度が 50kgf/cm² に達した時点で側型枠のみを外す。さらに、所定のコンクリート強度 (100, 150, 220kgf/cm²) に達し予定された V_c/V となった時点で、以下の手順で載荷を行う。



図－6 載荷模式図

使用する付加マスは、幅 1500mm、長さ 3000mm、厚さ 22mm の鉄板（1 枚あたり重量 0.78tf）とし、試験体長さ方向に 3 カ所に分けて積み重ねることとする。なお、試験体上フランジと 1 枚目の鉄板の間には、グリースを塗布して重ねた 2 枚のテフロンシートを挟み摩擦を除去する。試験体重量は、比重を 2.5 とすると 4.63tf と計算されるため、付加マスとして 6 段（18 枚）の鉄板（総重量 13.99tf）を予め上載する。加力日当日は、全ての油圧ジャッキの油圧を同時に減じながら、所定の時間でジャッキダウンを終了する。ジャッキダウンの操作が、本実験における 1 次載荷に相当するが、その後、2 次載荷としてさらに 4 段（12 枚）の鉄板を 1 段ずつ上載することとする。表－3 には、スパン中央での曲げ耐力および $L/4$ でのせん断耐力と当該するひび割れの発生荷重を、1 次載荷時および 2 次載荷終了時の作用断面力で無次元化したものを示す。載荷時のおもな測定項目は、支点反力、たわみ分布、ひびわれ分布、ひびわれ幅、鉄筋ひずみ、コンクリートひずみとする。

表－3 設計断面耐力

載荷状態 (鋼板段数)	M_{cr}/M			M_u/M			V_c/V			V_y/V		
	No.1,2	No.3	No.4	No.1,2	No.3	No.4	No.1,2	No.3	No.4	No.1,2	No.3	No.4
1次載荷(6段)	0.45	0.34	0.26	—	—	—	0.96	0.85	0.74	—	—	—
2次載荷(10段)	—	—	—	1.52	1.51	1.51	—	—	—	3.63	3.56	3.49

4. まとめ

本報では、布部大橋のひび割れ再現実験の計画概要について報告した。計画の要点は以下のとおりである。

- (1) 1/3 梁模型試験体では、ウエップ厚さ変化・ハンチ・隔壁を含め、実橋の中央ウエップを忠実にモデル化すること。また、当時の使用材料の規格に近いものを試験体に使用する。
- (2) 自重作用の相似則、およびせん断強度の寸法効果を考慮に入れた付加マスを、1/3 梁模型に事前に上載すること。
- (3) V_c/V および 1 次載荷の載荷速度を実験要因とすること。

また、本橋梁は平成 12 年のの架け替え完了を予定しているが、解体時には材料調査および部材の保有耐力の調査を、別途実施する予定である。これらの調査結果と併せ、別の機会に本実験の実施結果を報告する所存である。

参考文献

- 1) 布部大橋修繕工事について、北海道開発局技術研究発表会報文集、1971
- 2) 著しいひび割れが発生した鉄筋コンクリート箱げた橋のコンクリートおよび鉄筋の強度特性、北海道開発局技術研究発表会報文集、1994
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編 [平成 8 年版]、1996
- 4) 布部大橋の設計と施工について、北海道開発局技術研究発表会報文集、1958