

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.19 (1987) No.2

インドネシア・エニムリバー橋の設計と架設

Design and Erection Work of Enim River Bridge in Indonesia

村田 勝弘(Katsuhiko Murata) 松尾 弘一(Hiroichi Matsuo) 上村 明弘(Akihiro Uemura)

要旨：

インドネシア・スマトラ島の Bukit Asam 地区に架かる橋長 181m の橋梁を、設計および製作工事も含めインドネシア国鉄より受注し、1985 年 12 月現地架設が完了した。構造形式は、同一走行面に道路鉄道併用という特殊性に加え、施主よりの経済性に対する要望と、連続桁のもつ走行性、耐荷力などを考慮し、支点上の負モーメント域を非合成区間とする 4 径間連続部分合成桁とした。架設工については、架設用資機材の現地調達という制約を大きく受けながらも、全径間逐次剛結法を用いた送出し工法により、無事故で精度よく完工することができた。

Synopsis：

Kawasaki Steel was awarded a contract for the design, fabrication and erection of a 181-meter-long steel bridge by the Indonesia State Railways (PJKA). The work began in September 1983 and site erection was completed at Bukit Asam, Sumatra, Indonesia in December 1985. The bridge is a four-span continuous partial composite girder type structure. This type of superstructure was chosen for economy and to provide its deck slab with multipurpose usage for both railway and roadway transportation. Special features incorporated into design include: (1) Provision of a composite girder section length equivalent to the length of negative moment, (2) evaluation of loading conditions, deflection, etc., taking into account proof loading for a continuous girder and smooth accommodation of the railway and automotive loads. Erection was accomplished at the site using a cantilever launching method. Girders were assembled one by one using a repetitive erector. Erection work was executed quite safely with satisfactory results.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Design and Erection Work of Enim River Bridge in Indonesia



村田 勝弘
Katsuhiko Murata
エンジニアリング事業
部 建材技術部 部長



松尾 弘一
Hiroichi Matsuo
エンジニアリング事業
部 土木技術部 主査
(課長補)



上村 明弘
Akihiro Uemura
エンジニアリング事業
部 土木技術部

1 緒 言

赤道直下に位置するインドネシア・スマトラ島の Bukit Asam 地区は、石炭の埋蔵量が多いことで近年注目されている。架設現地は、原野が広がる未開の地となっているが、現在、同地区では石炭採掘施設や積出し基地等の建設工事が盛んに行われている。採掘された石炭の輸送については、Muaraenim より Lampung 州の Panjang まで鉄道による輸送路が確立されているが、積出し基地近くの一部区間においてはトラック輸送のため、非効率的となっていた。そこでインドネシア国鉄 PJKA (PERUSAHAAN JAWATAN KERETA AP) では、Bukit Asam 地区の鉄道整備事業を推進することにより効率的な輸送手段の確立を計画した。

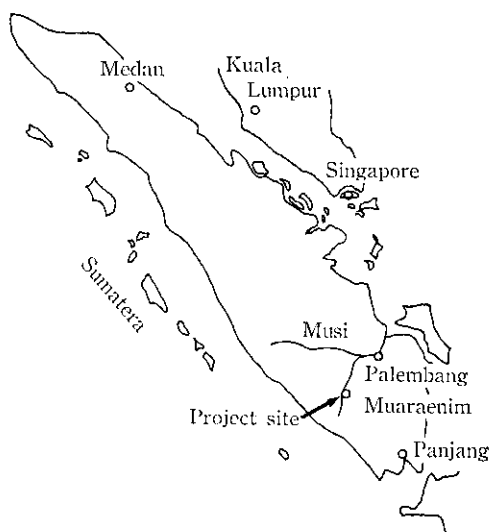


Fig. 1 Project site

要旨

インドネシア・スマトラ島の Bukit Asam 地区に架かる 橋長 181 m の橋梁を、設計および製作工事も含めインドネシア国鉄より受注し、1985 年 12 月現地架設が完了した。

構造形式は、同一走行面に道路鉄道併用という特殊性に加え、施主よりの経済性に対する要望と、連続桁のもつ走行性、耐荷力などを考慮し、支点上の負モーメント域を非合成区間とする 4 径間連続部分合成桁とした。

架設工については、架設用資機材の現地調達という制約を大きく受けながらも、全径間逐次剛結法を用いた送出し工法により、無事故で精度よく完工することができた。

Synopsis:

Kawasaki Steel was awarded a contract for the design, fabrication and erection of a 181-meter-long steel bridge by the Indonesia State Railways (PJKA). The work began in September 1983 and site erection was completed at Bukit Asam, Sumatera, Indonesia in December 1985. The bridge is a four-span continuous partial composite girder type structure. This type of superstructure was chosen for economy and to provide its deck slab with multipurpose usage for both railway and roadway transportation.

Special features incorporated into the design include: (1) Provision of a composite girder section length equivalent to the length of negative moment, (2) evaluation of loading conditions, deflection, etc., taking into account proof loading for a continuous girder and smooth accommodation of the railway and automotive loads.

Erection was accomplished at the site using a cantilever launching method. Girders were assembled one by one using a repetitive erector. Erection work was executed quite safely with satisfactory results.

エニムリバー橋は、この積出し基地よりの石炭輸送の計画路線が Musi 川の支流である Enim 川を渡るところに架かる道路鉄道併用橋である。架橋地点は、Fig. 1 に示すように Sumatera Selatan 州の中心都市 Palembang より約 200 km のところに位置する。本橋の開通が全体プロジェクトの早期操業の鍵を握っていることから、その架橋は早くから望まれていた。下部工工事については、一部雨期にさしかかり難工事となったため、全体工程は約一年遅れることとなったが、昭和 58 年に基本設計に着手して以来、昭和 60 年 12 月現地架設が完了した。

インドネシアにおける橋梁工事は、中小橋梁の架け替えが中心となっているが、新設である本橋は大規模であるうえに、技術的には設計面において部分合成桁形式を、架設において全径間逐次剛結法を採用するなど目新しいものとなっている。

以下は、このエニムリバー橋の設計と架設技術について報告する。

* 昭和62年2月27日原稿受付

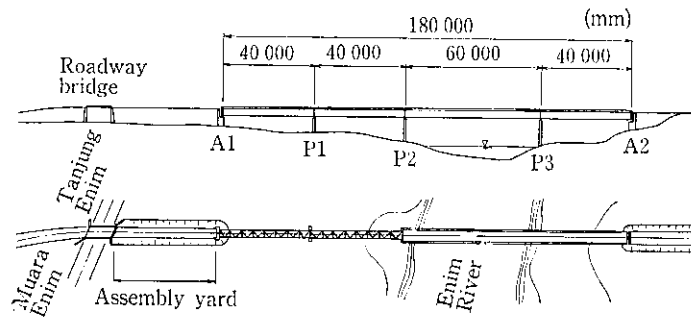


Fig. 2 General plan

2 工事概要

本橋の概要は以下のとおりであり、一般図を Fig. 2 に示す。

- 形式: 4 径間連続活荷重部分合成桁橋
- 橋 長: 181.00 m
- 支 間: 40.00+40.00+60.00+40.00 m
- 幅 員: 4.40 m 道路一車線
鉄道(単線)
2 @ 0.8 m 歩道部(両側)
- 荷 重: 列車荷重 PJKA 1st standard train (軸重 18 t)
自動車荷重 BINA MARGA 70% loading
- 縦断勾配: Level
- 横断勾配: 3.0% 直線
- 床 版: 鉄筋コンクリート床版 ($t=31.0$ cm)
- 舗 装: 自動車走行部 アスファルト舗装
軌道部 コンクリート舗装
- 設計震度: $K_R=0.14$
- 鋼 種: SM53C, SM50YB, SM41A
- 鋼 重: 371 t

3 上部工の設計

3.1 構造形式

本橋は石炭積み出し基地よりの石炭運搬列車専用の橋梁であるが、Enim 川対岸へのアクセス道路が架橋地点付近にないことから、同一橋床上に併設路面をもつ道路鉄道併用橋として計画されたものである。

主桁断面は、Fig. 3 に示すように、鉄道軌道はスラブ直結式とし、レール面天端までアスファルト舗装とすることにより道路路面を形成している。この結果、死荷重の増加をまねくことになるが、構造形式の選定に当っては、施主である PJKA よりの強い要請で、併用橋としての経済性と、連続桁のもつ走行性、耐荷重などの長所を考慮し活荷重部分合成桁を採用することとした。

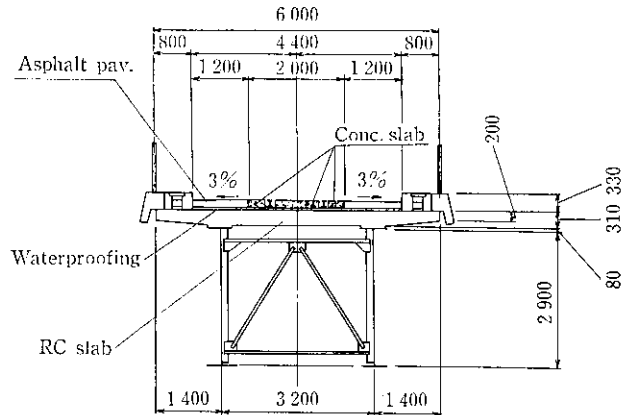


Fig. 3 Cross section of girder

3.2 荷 重

3.2.1 自動車荷重

自動車荷重は、インドネシア公共事業省 (BINA MARGA) の Loading Specification¹⁾ に規定されている 70% Loading に準拠した。この荷重は、次式に示す線荷重と等分布荷重より成り、荷重の与え方が AASHTO²⁾ に沿っていること、また荷重の載荷方法が道路橋示方書³⁾ の流れに沿っていることが特徴的となっている。

線 荷 重: $P=12$ t

等分布荷量 (t/m): $p=2.2-\frac{1.1}{60}(L_t-30)$

ここで、 L_t は支間長 (m) である。

この 70% Loading は、道路橋示方書に規定されている TL-14 と比較して、集中荷重による断面力は約 30%、等分布荷重のそれは約 1.5 倍の値となるが、トータルではほぼ TL-14 に相当する。

3.2.2 列車荷重

本橋は石炭運搬の専用線であることから、列車荷重は Fig. 4 に示す軸重 18 t の本線固有のものを採用した。

3.2.3 衝 撃

衝撃係数は、各荷重に対して以下に示す値となっている。

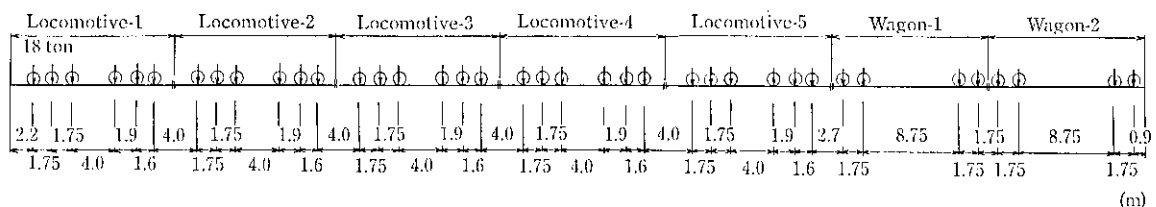


Fig. 4 PJKA 1st standard train loading

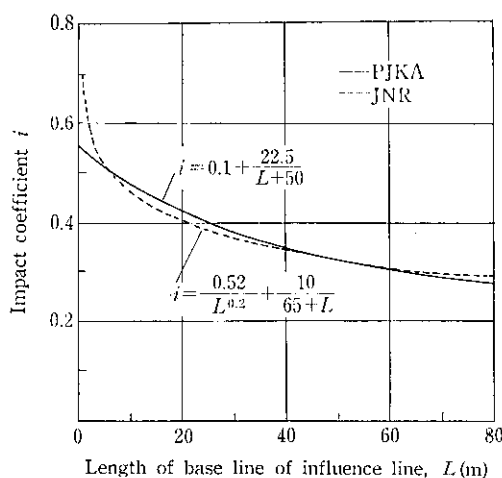


Fig. 5 Impact Coefficient of train loading

自動車荷重に対して

$$i = 20 / (L + 50)$$

列車荷重に対して

$$i = 0.1 + 22.50 / (L + 50)$$

ここで、 L は部材に最大応力を生じさせる同符号の影響線の基線の長さ(m)である。

Fig. 5は、列車荷重に対する衝撃係数の我国の国鉄⁷⁾との比較を示したものであり、ほぼ近似し大差ない値となっていることがわかる。

3.3 非合成区間の決定

部分合成桁は曲げ性状が十分に明らかにされていないことから、その実施例も数少ないが、プレストレスのない連続合成桁のもつ欠点を有効的に補うという合理的な思想に基づく構造形式である。しかし、部分合成桁には非合成区間の増大とともに、合成・非合成境界部への水平せん断力の集中や、終局耐力が低下するという問題がある。

負モーメント域とともに、合成・非合成境界部におけるコンクリート床版のひび割れに対しては、鉄筋量や非合成区間長比(非合成域と負モーメント域との比)が重要な因子であり、部分合成桁の設計に際してはその設計方法とともに注意を要するところである。部分合成桁のコンクリート床版のひび割れに関する実験的研究⁹⁾によれば、鉄筋量と非合成区間長比に関して以下のことが明らかになっている。

- (1) 鉄筋量はひび割れ幅に大きな影響を与え、鉄筋量が大きくなるとひび割れ幅が小さくなる。
- (2) 非合成区間長はひび割れ本数に影響を与え、非合成区間長が

短くなるとひび割れ本数が多くなる。

- (3) また、非合成区間長は中間支点付近における床版応力と関係があり、非合成区間長が長くなると軸方向鉄筋の応力が減少する。

以上のことから、本橋の設計に当っては、コンクリート床版に発生するひび割れを極力押えるという観点に立ち、負モーメント域を非合成区間とすることとした。この場合、逆に合成・非合成境界部における水平せん断力が増大するという結果となる。そこで、この境界部のひび割れ対策として、また、断面の急激な変化を緩和する目的から、非合成区間にスラブアンカーを設けることにより対処した。これは、セン断補強を行っても終局耐力の向上にあまり寄与しないことによる⁹⁾。

本橋の場合、主桁の断面変化点とモーメント分布を考慮し、合成・非合成区間をFig. 6に示すとおりとした。

3.4 防水工

合成・非合成境界部および中間支点付近コンクリート床版はひび割れが発生し易いが、ひび割れによる鉄筋の腐食対策として、橋面全長について防水層(珪青材 $t=30$ mm)を設けた。これにより、ひび割れが発生しても雨水の流入等は防止できる。

4 架設工法の選定

4.1 地理的条件

架橋地点の地形形状および土地利用状況より、桁下空間の利用は可能である。しかし、架設時は雨期に当たり地盤状態が悪く、起重機の搬入は困難となる。このことから、トラッククレーン等を主体とする工法は、施工性および安全性の面において問題がある。また、橋軸方向の隣接地については、右岸側はA1橋台よりアプローチ道路までの間約50 mを確保できるが、左岸側はアクセス路の幅員が狭いため、トレーラーによる主桁の運搬はできない状態であった。したがって、架設時における橋梁部材の搬入は、右岸側よりの一方向に限定される。

4.2 架設機材

架設機材は、経済性の面からすべて現地調達を基本とした。しかし、市場における流通状況より、調達可能な資機材の能力と数量には限度がある。資機材の搬入に当たっての輸送路は確立されているが、とくに能力に余裕のある起重機や、エレクトロニクス、ケーブルクレーンなどの特殊な設備の調達となると、施工規模からして経済性に欠ける。また、ベント、ステーキングなどの多くの支保工

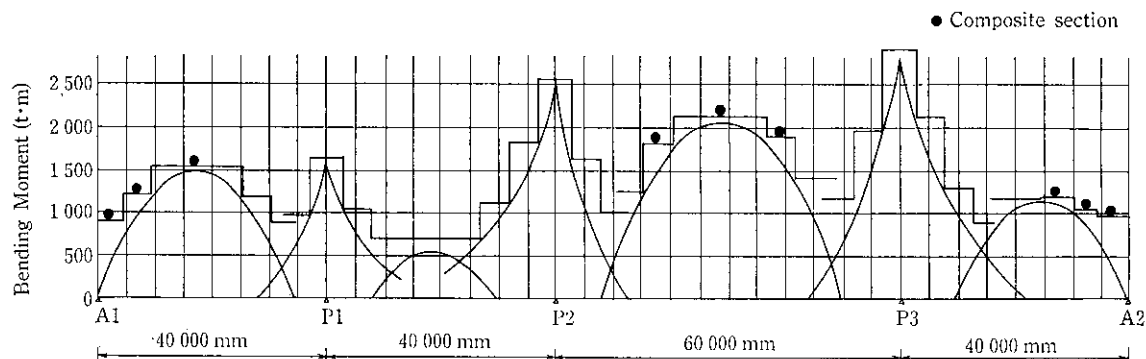


Fig. 6 Moment diagram and composite section

設備を要する工法は、工程上の制約を大きく受ける。このため、現地調達可能な範囲内で、小規模な設備と、機材で行うことのできる工法とすることが必要であった。

4.3 架設工法の選定

架設工法の選定に当っては、上述の地理的条件と架設機材の現地調達可否に起因する各工法の施工性、安全性および経済性を総合的に検討した。その結果、特殊な設備を必要とせず、小規模な機材で済む送出し工法が、他の工法と比較してすべての面において優れており、最も適当であると判断した。また、地組ヤードとして約 50 m の長さしか確保できないため、桁の組立て段階を予め設定の上、各段階での桁の形状を把握しながら、送出しと主桁の組立てを交互に行う逐次剛結法を合わせて採用し、施工性の向上を図った。

5 架設工

5.1 送出し設備

主桁の支持点となる各橋台、橋脚上の設備は、ローラー、油圧ジャッキ、ローラー案内支保工より構成される。ローラーは、チルトタンクと呼ばれる最大耐力 60 t のものを使用した。

このチルトタンクの使用により、主桁を平面に近い状態で支持できるため、腹板の応力集中が緩和され、局部座屈に対する安全性が高

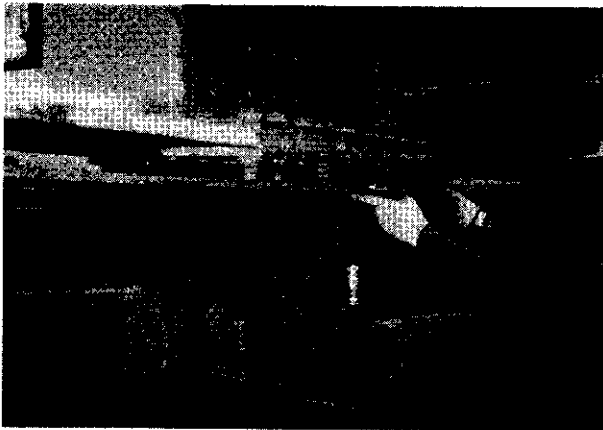


Photo 1 Equipment at each support

くなる。また、主桁の断面変化点および現場継手についても特別な加工を必要とせず、作業効率が良くなる。これらのことから、送出し時の安全性および施工性がかなり改善される。

Photo 1 は、各支持点における送出し設備の設置状況を示す。

5.2 架設手順

架設手順は Fig. 7 に示すように、主桁を 3~4 ブロックずつ送出し線上に順次組み立て、高力ボルト締めを行い送出すというフローである。主桁全ブロックが組み上がり、所定位置までの送出しが完了した時点で主桁を降下させ、支承を固定する。その後、手延べ機を取りはずし、送出し工の安全を図るために打ち残した橋台パラベットのコンクリート打設を行い、パラベット背面の土砂を裏込めして完成させる。Photo 2 は、送出し状況を示す。

5.3 送出し工

送出し工は、下フランジの断面変化点と現場継手部が支持点を通過する場合は、油圧ジャッキと滑り板とを組合わせた送出し装置に

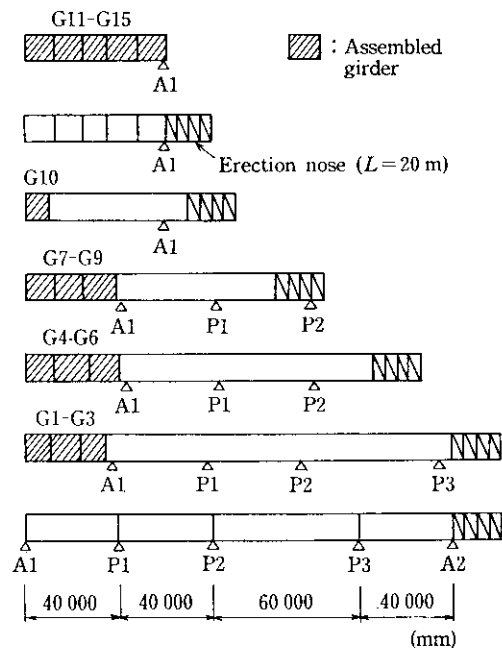


Fig. 7 Procedure of girder assembling and cantilever launching



Photo 2 Cantilever launching

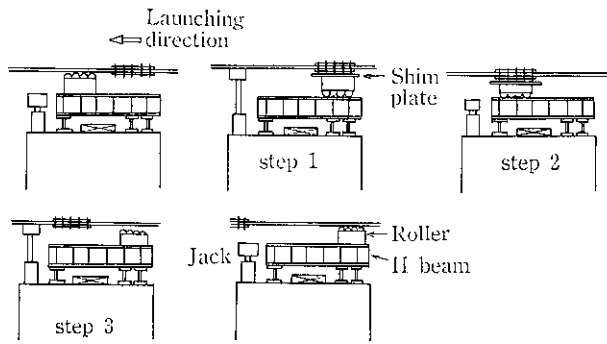


Fig. 8 Work flow at each support

よる作業手順と同じシステムを採用し、それ以外はローラー固定式とした。すなわち、Fig. 8において、現場継手部が支持点に到達したときのフローは以下のとおりである。

- (1) 主桁をジャッキアップ後ローラーを反転し、ローラーと下フランジの間に調整板を挿入する (Step 1)。
- (2) ローラーの配置を確認の上、再度送出しを行う (Step 2)。
- (3) ローラーが案内支保工の端部に到達した時点で主桁をジャッキアップし、ローラーを再度反転後元の位置へ戻す (Step 3)。

この手順は、作業を単純化することにより、現地作業への指示を徹底させ、同時に作業効率の向上と施工管理を簡素化することを狙ったものである。

なお、送出し速度は10~15 cm/min、1日の平均送出し長さは約10 mであった。

5.4 キャンパー管理

主桁組立時のキャンパー形状は、各組立段階において変化する中で、ボルト孔基準により仮組立時のキャンパー形状を現場で再現するという逐次剛結法によりキャンパー管理を行った。Table 1は仮組立時と架設完了時におけるキャンパー値を示したものである。

本橋の製作については、先孔フルサイズ工法を基本としたが、ほぼ満足のいく結果を得ている。

5.5 レベルの調整

送出し基準線は、各橋台の橋脚天端より650 mmの高さに設定し、この基準線に沿って送出し工を行った。送出し時の主桁の形状は逐次変化する死荷重キャンパー量に応じて、各支持点におけるローラー受点のレベルを送出し基準線に対して調整することにより管理した。また、支持点を主桁の断面変化部および現場継手部が通過する時は、他の支持点も必要に応じてレベル調整を行うことにより、不均等荷重が生じないように配慮した。

5.6 送出し方向の調整

主桁の送出し方向は、ローラーの設置精度により決定される。架設中における橋軸直角方向の偏心は直線性状を示し、ある点を中心として主桁全体が回転する傾向にあった。この偏心の修正は、常に橋軸中心線と計画線との偏心量を計測しながら、各支持点の偏心方向と反対方向にローラーの送出し方向を調整する方法によった。なお、荷重作用点がずれることにより、主桁が座屈する可能性があるため、ローラーの送出し方向は計画線に対して最大1:50の割合とし、また、厳重なる計測管理体制を敷くことにより万全を期した。

Table 2は、架設完了時における橋軸直角方向の偏心量を示す。

Table 1 Camber

Measurement point		①	④	⑧	⑫	⑮	⑲	⑳	㉓	㉖	㉙
Shop Assembly	GA*	0	-1	+5	+6	+1	+7	+4	+4	0	
	GB**	0	-2	+1	+5	+3	+7	+7	+4	0	
Site Erection	GA*	-3	-7	+2	+5	+3	+9	+1	-1	0	
	GB**	-3	-9	+2	+2	+2	+6	-1	-2	0	

*GA: The upper stream girder

**GB: The lower stream girder

Table 2 Alignment

Measurement point	Alignment* (mm)
A1**	+50
P1	+5
P2	0
P3	-1
A2	0

* Upperstream “-”, downstream “+”

** Support free

6 架設時応力の検討

6.1 設計条件

主桁送出し時は構造系が片持ばりとなり、完成構造系と異なる。このため、送出し桁自重および仮設備重量により橋体に発生する断面力を検討する必要がある。ここでは、とくに局部荷重を受けるプレートガーダーの腹板の座屈解析について、DASt 指針 012²⁾による照査例を示す。

座屈の照査をする断面は、本工事期間中の主桁が最大反力を受ける場合に着目し、垂直補剛材に囲まれた部分パネルとし、パネルの辺中央に局部荷重が等分布に作用するものとする。Fig. 9は、座屈

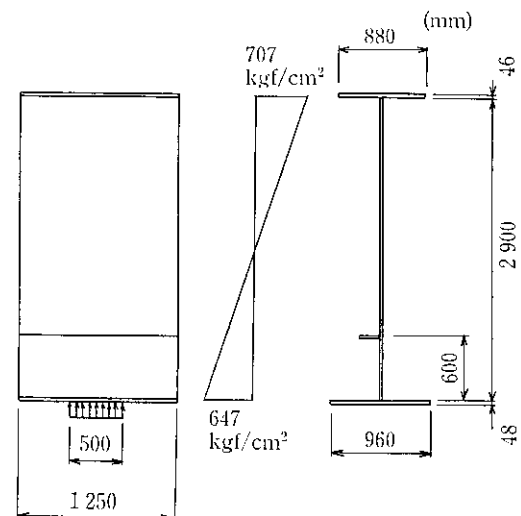


Fig. 9 Panel section and working stress

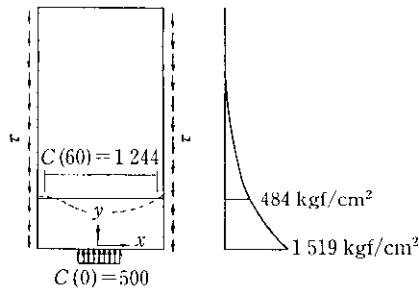


Fig. 10 Working stress due to vertical load

Table 3 Working Stress

y (cm)	σ_x (kgf/cm ²)	σ_y (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	σ_v (kgf/cm ²)
0	647	1519	140	1342
60	354	484	140	497
290	-707	0	140	747

照査断面と基準となる応力を示す。この場合の断面力は下記のとおりである。

(曲げモーメント) = 957.6 t·m

(せん断力) = 48.6 t

(鉛直反力) = 91.2 t

6.2 応力分布と座屈安全率

Fig. 9 に示す断面においては、局部荷重の導入により鉛直方向の垂直応力 $\sigma_y(y)$ が存在し、この $\sigma_y(y)$ を考慮した次式で定義される σ_v を計算すると、部分パネルの応力分布を求めることができる。

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2}$$

Fig. 10 は応力図を、Table 3 は応力分布を示す。

次に、以上の計算結果を基に座屈安全率を求める。本橋の場合、腹板厚 $t=12$ mm の初期検討断面における存在板座屈安全率 (vorh ν_B) および所要板座屈安全率 (erf ν_B) は、以下の結果を得た。

$$\text{vorh } \nu_B = 1.08$$

$$\text{erf } \nu_B = 1.49$$

同様に、腹板厚を $t=16$ mm とした断面においては、

$$\text{vorh } \nu_B = 2.38$$

$$\text{erf } \nu_B = 1.48$$

となり、 $\text{vorh } \nu_B > \text{erf } \nu_B$ の関係式を満足する (詳細な計算フローについては文献⁸⁾を参照されたい)。

6.3 腹板の補剛

送出し時における座屈照査の結果より、送出し支持点上の腹板の局部座屈を防止するために、腹板厚を増すことにより橋体の補強を

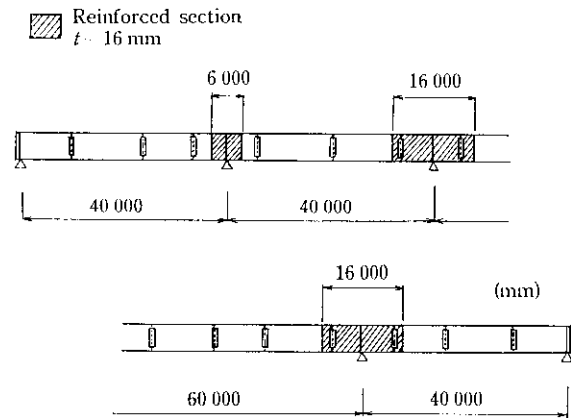


Fig. 11 Reinforced girder section

行った。初期検討断面 $t=12$ mm より $t=16$ mm に補強した箇所を Fig. 11 に示す。

DASt 指針 012 による座屈解析は、電子計算機の使用を前提としておらず、現場でも対応可能な有効な方法と思われる。

7 まとめ

インドネシア国鉄より受注し、1985年12月に現地架設が完了したスマトラ島の Bukit Asam 地区に架かる橋長 181 m のエニムリバー橋の設計と架設について報告した。本工事に由り得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 構造形式として 4 径間連続部分合成桁を採用し、断面変化点とモーメント分布を考慮して桁長の約 36% を合成断面とした。
- (2) 全径間逐次剛結法を用いた送出し工法による架設を実施し、精度良く仮組立時のキャンパーを再現することができた。
- (3) 架設途中における主桁の橋軸計画線に対する偏心は、ローラーの設置方向を各支持点とも偏心の反対方向に調整することにより、容易に修正することができた。
- (4) 架設時の主桁の座屈解析について、DASt 指針 012 は有効な方法と思われる。

本橋の開通が、全体プロジェクトの早期操業の鍵を握っていただけに、我々に課せられた責務は大きなものがあつた。主桁地組立てを開始してから対岸到達、そして架設完了までに要した工期は約 2 箇月。設計、そして製作に着手してからは約 2 年経過したことになる。インドネシアで行われた送出し工法による架設としては、本工事は大規模なものであり、現地調達資材使用という制約を大きく受けながらも、無事故で精度良く施工することができ喜びにたえない。また、設計面においても、同国では先駆的役割りを果たしており、本橋がインドネシアにおける橋梁工事の歴史に残り、ひいては日本との友好のかけ橋となることを願っている。

参考文献

- 1) DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA: "Loading Specification for Highway Bridges", No. 2/1970, (1983)
- 2) The American Association of State Highway and Transportation Officials: "Standard Specifications for Highway Bridges", 13th Edition, (1983)
- 3) (社)日本道路協会: 「道路橋示方書・同解説」, (1980), 8-17, [丸善]
- 4) 土木学会編: 「国鉄建造物設計標準解説」, (1983), 20-24, [技報堂]
- 5) I. Garcia and J. H. Daniels: "Test of Composite Beams under Negative Moment", Friz Engineering Laboratory, Report No. 359, Lehigh Univ., (1971)
- 6) 福井次郎: 「断続合成げたの弾塑性曲げ性状に関する研究」, 大阪大学大学院修士論文, (1980)
- 7) 小松定夫: 「鋼構造の補剛設計」, (1982), 565-586, [森北出版]
- 8) 伊藤敏一: 橋梁と基礎, 18 (1984) 3, 32-39