

RC 構造物の現場作業省力化ならびに生産性向上に向けた ストライプ HTM の用途拡大

Expanded Application of Stripe HTM for Labor-Saving of RC Structures

山口 昭 YAMAGUCHI Akira JFE スチール 建材センター 建材技術部 土木技術室 主任部員 (課長)
 河合真利奈 KAWAI Marina JFE スチール 建材センター 建材技術部 土木技術室 主任部員 (係長)

要旨

ストライプ HTM は、1980 年より RC 構造物の鉄筋代替として高架橋橋脚の工期短縮工法である REED 工法TM の主材料に採用されている。また、近年、施工現場の労働者不足に伴う建設現場作業の効率化・省力化および生産性向上が望まれていることから、鉄筋代替として採用されるケースも増加している。本稿では、これらのストライプ H の用途拡大について適用事例と合わせて紹介する。

Abstract:

Stripe HTM has been applied to RC structures as a substitute for steel bars since 1980. As an example, it has been adopted as a main material of the REED methodTM as a construction period shortening method for viaduct piers. In addition, it is desired to improve the efficiency, labor saving, and productivity of construction site work due to the shortage of workers recently. This paper introduces the application expansion of these stripe H together with application cases.

1. はじめに

我が国の建設業の現場では担い手の高齢化 (図 1¹⁾) が顕著であり、働き方改革や生産性向上を目的とした現場施工の省力化ニーズが高まっている。このような状況を背景として、1980 年に高架橋橋脚の工期短縮工法として開発した REED 工法TM の主材料であるストライプ HTM を鉄筋代替として適用することで、現場配筋作業の省力化が図られているので、その適用事例について紹介する。

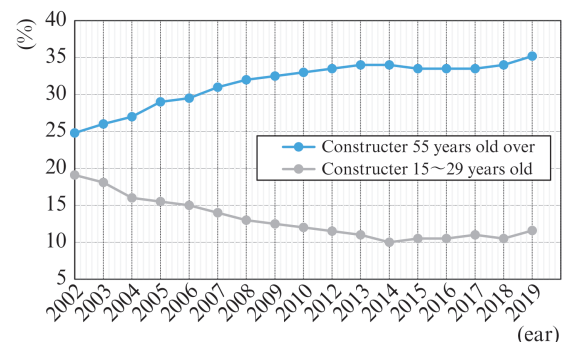


図 1 建設業における就業者の年齢構成

Fig. 1 Transition of construction workers by age group

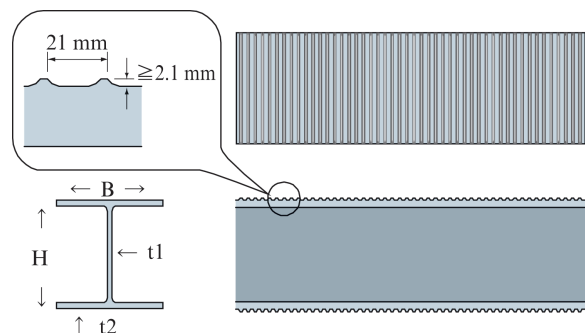
2. ストライプ HTM の概要

2.1 ストライプ HTM の仕様

ストライプ H は、コンクリートとの付着性能を高めるため、H 形鋼のフランジ外面に熱間圧延により横ふしを形成したものである。突起高さおよび突起間隔は、H-150, 200 サイズでそれぞれ 1.5 mm および 15 mm, H-300 サイズで 2.1 mm および 21 mm としており、H 形鋼のフランジ外面全長にわたり形成する (図 2, 図 3, 写真 1 参照)。また、断面性能一覧を表 1 に示す。

2.2 ストライプ HTM の基本性能²⁾

ストライプ H の仕様設定および基本性能確認のために実



<Example H-300x300>

図 2 ストライプ HTM の仕様

Fig. 2 Stripe HTM specifications

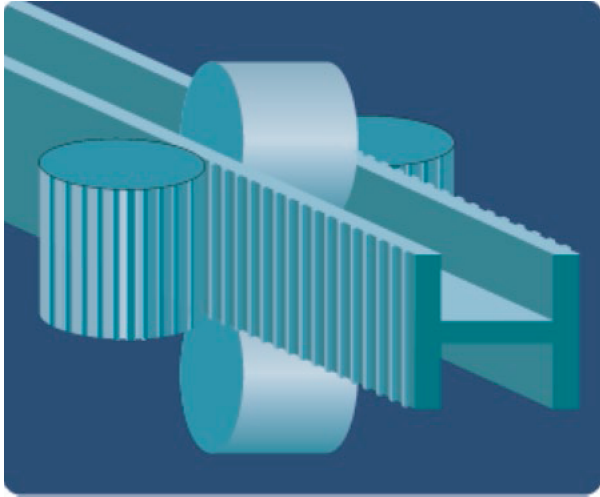


図3 ストライプ HTM の製造方法

Fig. 3 Method for manufacturing Stripe HTM



写真1 ストライプ HTM

Photo 1 Stripe HTM

施した主な試験概要と結果について以下に示す。

2.2.1 付着特性の評価

ストライプ H の付着性能評価のため、フランジ部から鋼板を切り出し、両面が突起になるよう張り合わせた試験片を、鋼管を型枠にして打設したコンクリート中に設置し引き抜く試験を実施した。

突起付き鋼材におけるコンクリートとの相対すべり量発生段階は、最大付着強度の 20~30% の段階であることから、既往の試験結果³⁾ に基づき初期のすべり量 0.05 mm での付着強度で突起付き鋼材の付着特性を評価した。この評価により、ストライプ H の付着特性は異形鉄筋 (D51) と同等以上であることが確認できた (図 4)。

2.2.2 SC 構造の評価⁴⁾

鉄筋コンクリート断面 (RC 構造) および同等の断面性能を有するストライプ H 適用の鉄骨コンクリート断面 (SC 構造) について梁の曲げせん断試験 (図 5 参照) を行い、変形性能を確認した。

図 6 に荷重重とスパン中央におけるたわみ量の関係を示

表 1 ストライプ HTM の断面性能
Table 1 Performance of Stripe HTM

Series length	Height H (mm)	Width B (mm)	Thickness t1 (mm)	Thickness t2 (mm)	Area A (cm ²)	Shear strength W (kg/m)
150×150	150	155	8	10	41.95	34.1
	154	157	10	12	51.23	41.4
	158	158	11	14	59.09	47.6
	160	159	12	15	63.85	51.4
200×200	200	204	8	12	64.49	52.1
	204	205	9	14	74.69	60.1
	208	206	10	16	84.97	68.2
	210	207	11	17	91.19	73.1
	212	208	12	18	97.45	78.0
300×300	300	308	10	15	120.9	97.4
	304	310	12	17	139.3	112
	308	312	14	19	157.8	126
	312	314	16	21	176.5	141
	316	316	18	23	195.4	156
	318	317	19	24	204.9	163
	320	323	25	25	230.5	184
	324	320	22	27	233.7	186
	328	322	24	29	253.0	201
	332	324	26	31	272.5	217
	336	326	28	33	292.2	232
	340	328	30	35	312.1	248
	344	330	32	37	332.1	263
348	332	34	39	352.2	279	
350	333	35	40	362.4	287	

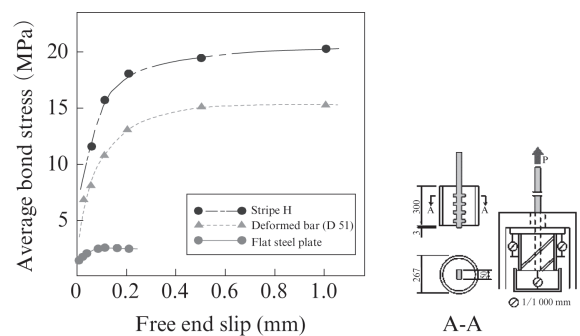


図 4 ストライプ HTM の付着特性評価試験

Fig. 4 Adhesion performance verification test of Stripe HTM

す。なお、荷重および変位をそれぞれ P_{FY} (計算値)、 δ_y (実験値) で無次元化した。ここで、 P_{FY} (計算値) は引張側鋼材の全断面積に鋼材の降伏応力を乗じた値を、また δ_y (実験値) は実験試験体の鋼材の降伏時の変位を示す。

図 6 のとおり、SC 構造は RC 構造と同等の耐力および剛性を示していることから、部材内での平面保持が成立する。

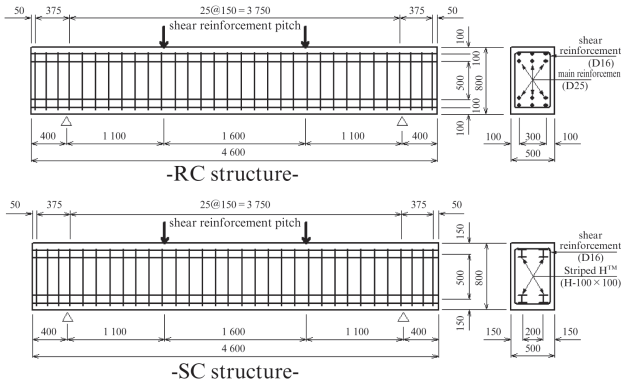


図5 梁の曲げせん断試験体形状

Fig. 5 Beam bending shear specimen shape

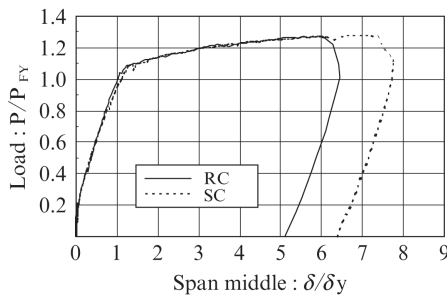


図6 荷重とスパン中央のたわみ関係

Fig. 6 Load and middle span deflection

以上より、鉄筋断面積を等価なストライプ H に置き換えた場合に、同等の耐力および変形状であることが確認された。

2.2.3 接合部の仕様設定^{5,6)}

ストライプ H は、熱間圧延で製造するため長尺品の対応が可能であるが、工事現場への搬入・施工にあたり縦継ぎ施工を伴うこととなる。そのため、ストライプ H の縦継ぎ部は、全強の強度を確保できるよう高力ボルトを用いた摩擦接合方式としている。

ストライプ H はフランジ外面に突起があるため、突起がある状態で高力ボルト摩擦接合した場合の性能を確認するため、縦継ぎ部のすべり耐力を評価した。

すべり耐力を評価するため、図7のとおりストライプ H のフランジから切り出した鋼板 (CASE1) の引張試験を行った。また、ストライプ H を対象にした引張試験 (CASE2) は、ウェブより先にフランジですべりが発生する仕様とした。なお、摩擦接合面には、ショットブラスト処理を施した。ボルトに導入する軸力は、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編⁷⁾に規定されている設計ボルト軸力の10%増しを目標とし、ボルトに貼付したひずみゲージの値により管理した。

すべり係数の確認にあたっては、明確なすべりが発生した時点、もしくは鋼板同士のすべり量が0.2 mm に到達した時点の荷重の何れか小さい荷重を、ボルト本数とボルトの

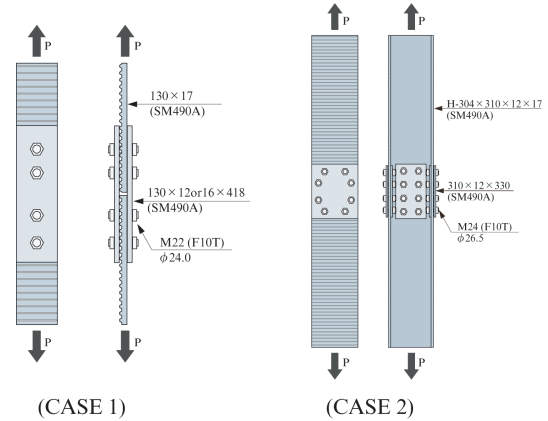


図7 引張試験

Fig. 7 Tensile test of flanged steel plate

表2 すべり係数の比較

Table 2 Comparison of slip coefficients

Test case	Slide spec
Case 1	0.55
Case 2	0.58
Road bridge specifications	0.40

初期平均軸力で除した値とした。

表2に示すとおり、CASE1、CASE2で得られたすべり係数 μ は、それぞれ $\mu=0.55$ 、 0.58 と、道路橋示方書・同解説⁷⁾に示される規定値を十分に上回ることが確認された。

この結果からストライプ H の縦継ぎ部の接合は、フランジ外面に突起がある状態でも高力ボルト摩擦接合方式が適用できることを確認した。

3. ストライプ HTM の用途拡大

鉄筋代替となる特性を有するストライプ H の用途拡大例を以下に述べる。

3.1 REED 工法TM の概要

ストライプ H を REED 工法へ適用した事例を以下に示す。

3.1.1 工法概要

REED 工法とは、主筋代替となるストライプ H を構造物内部に配置し、その外周に埋設型枠である SEED フォーム (写真2) を設置することで、構造物全体として在来の RC 構造と比較して高い靱性を有する橋脚を構築できる工法である。図8に概念図を示す。なお、工法の開発は前田建設工業株式会社と JFE スチールが共同で実施した。

本工法の特徴として、在来の RC 工法と比べて大幅に工期短縮を図れる点がある。図9に橋脚高さ10 m 規模の橋脚柱部を対象とした両工法の工期の比較例を示す。REED 工法を適用した場合、在来工法に比べ、橋脚の柱部を構築する

のに要する期間の約 60% 低減が期待できる。これは部材のプレファブ化およびプレキャスト化により、特殊な技能を要せず容易に施工できるためである。REED 工法は、2020 年 10 月時点で 70 件以上の施工実績を有しており、現場における生産性向上の観点から、今後さらに適用事例の増加が期待される。



写真 2 SEED フォームの製作例

Photo 2 Example of SEED form fabrication example

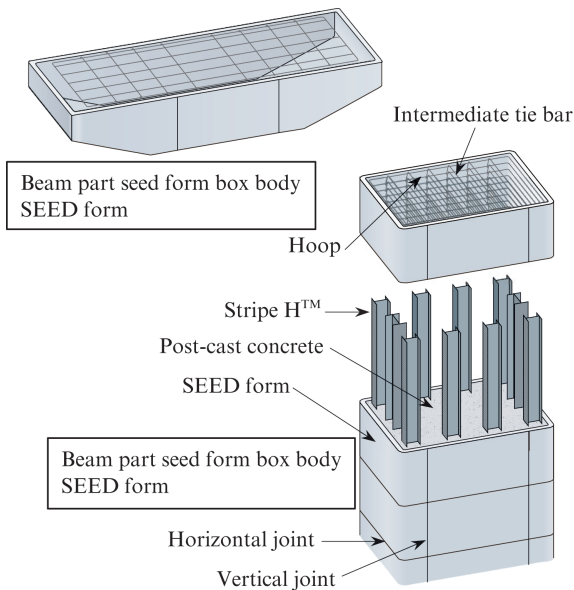


図 8 REED 工法TM 概念図

Fig. 8 Conceptual diagram of REED methodTM

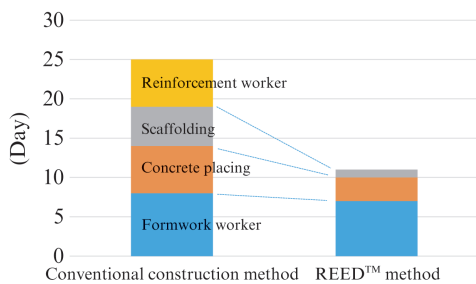


図 9 在来工法と REED 工法TM の工種別工期比較

Fig. 9 Comparison of construction period by type between conventional method and REED methodTM

3.1.2 至近の適用例

REED 工法は、道路、鉄道の高架橋橋脚に適用されている。適用例として、北陸新幹線の福井開発高架橋の例を示す。

- 1) 件名: 北陸新幹線、福井開発高架橋
- 2) 事業主体: 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
- 3) 施工主体: 大林・名工・道端北陸新幹線、福井開発高架橋特定建設工事共同企業体

本高架橋工区は、えちぜん鉄道高架事業の仮線として使われていた関係から工事着工が遅く、工期短縮が求められていた。橋脚の建設にあたり REED 工法が採用されたことで急速施工が可能となり、種々工種の併行作業もあって、フーチング部から梁部までの構築で約 40% 工期短縮が図られた。適用例を写真 3 に示す。

3.2 ダム堤体越流部橋脚の主筋としての適用

ストライプ H をダム堤体越流部橋脚⁸⁾の主筋として適用した例を以下に示す。

- 1) 件名: ハッ場ダム本体建設工事
- 2) 事業主体: 国土交通省関東地方整備局
- 3) 施工主体: 清水・鉄建・IHI 異工種建設工事共同企業体

ダム堤体越流部橋脚(写真 4 参照)の構造検討は、基本設計段階では L1 地震動への検討を行っていたが、詳細設計段階では、2005 年 3 月に公開されたダム耐震性能照査指針(案)・同解説⁹⁾に基づく L2 地震動に対する安全照査が求められたことから、以下の制約条件のもとで設計検討した。

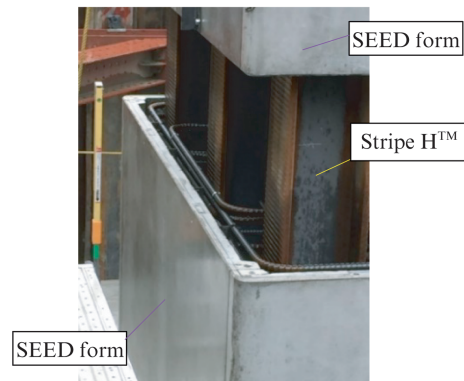


写真 3 REED 工法TM 適用例

Photo 3 Construction status of REED methodTM



写真 4 ダム堤体越流部橋脚の設置位置
Photo 4 Installation position of sluice gate

(設計上の制約条件)

- ・水門柱の離隔寸法は基本設計段階で決定した仕様に加え、流量も確保できる仕様とする。
- ・L2 地震動を考慮し、水門柱のダム軸方向（水流と直角方向）の変位量を、ゲート損傷防護の観点から 10 mm 以下に抑える。
- ・現場でのコンクリート打設施工品質および施工性を確保する。

これらの設計条件のもと、在来工法では鉄筋の配置が過密となり、コンクリートの施工品質に課題が生じることおよび施工工期の遅延が想定された。これらの課題を実施で解決するため、原設計での主筋配置 D51@130-2.5 段（**図 10** 参照）の工事について、コンクリートの打設施工性ならびに施工品質確保等の総合的な観点から検討し、ストライプ H を適用することで制約条件ならびに種々課題を満足できることから、最適な工法として採用された。その際の躯体施工時状況を**写真 5**に示す。

3.3 大口径深礎杭の主筋としての適用

ストライプ H を高速道路橋の大口径深礎杭に適用した事例を以下に示す。

- 1) 件名：新東名高速道路河内川橋工事
- 2) 事業主体：中日本高速道路
- 3) 施工主体：鹿島・大成特定建設工事共同企業体

高速道路の基礎・橋脚・上部工の各工種で合理化が検討されており、基礎工については、深礎杭の内部鉄筋にストライプ H を用いることで合理化が図られている。

設計対象の大口径深礎杭は**写真 6**に示すとおり、 $\phi 16$ m L=25~30 m となっている。

原設計（RC 構造）からストライプ H への置換にあたり、異形棒鋼は全周に突起があるのに対し、ストライプ H は、フランジ外面のみに突起があることおよび本構造では比較的大断面のストライプ H の適用が必要であること等の課題があった。このため、ストライプ H の断面設定および配置計画にあたっては、曲げモーメントにより生じる応力度に対

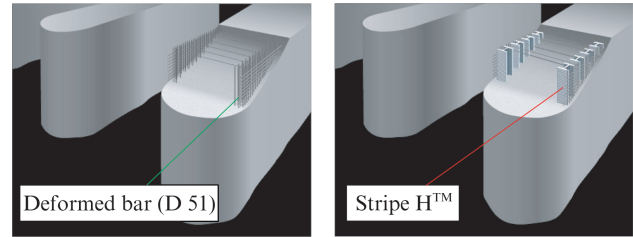


図 10 配置状況
Fig. 10 Arrangement



写真 5 施工状況
Photo 5 Construction scene

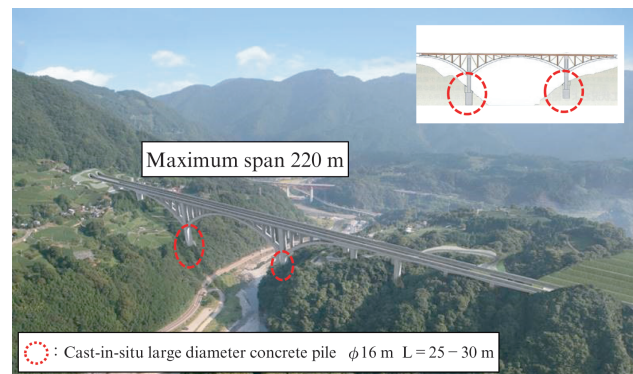
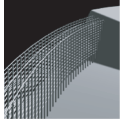
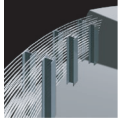


写真 6 大口径深礎杭への適用
Photo 6 Cast-in-situ large diameter concrete pile

して所定の付着抵抗が確保されていることを確認し、また建込み時の作業性や高力ボルト接合に必要なスペースの確保など施工性も考慮した配置計画とした。

深礎杭の構造比較として、主鋼材に異形棒鋼(D51-SD490)とストライプ H (SM490YB) を適用した場合の比較結果を**表 3**に示す。ストライプ H の適用により配筋作業を省力化することが可能となり、施工に必要な日数も在来工法に対し

表3 適用比較
Table 3 Application comparison

	Conventional RC	Stripe H TM	
Schematic drawings			
Steel spec.	SD490	SM490YB	
Material test σ_y (N/mm ²)	490	355	
Material design	Out side (pic)	D51-228	H-320X323X25X25-28
	Inside-1 (pic)	D51-228	H-320X323X25X25-28
	Inside-2 (pic)	D29-114	—
	Total (pic)	570	56
Steel weight (ton)	194	256	
Construction days (day)	198	79	

て約 60%削減 (198 日⇒79 日) でき、大幅な合理化が図られた^{10, 11)}。

4. おわりに

我が国の社会資本整備に不可欠な存在である建設業で、働き方改革、将来の担い手不足が喫緊の課題となっている。これらの課題を解決するとともに生産性向上を図る工法として、ストライプ H の更なる用途拡大や新工法の開発を推進し、インフラ整備の拡充に貢献したいと考えている。

本稿で紹介したストライプ H の論文執筆にあたっては、国土交通省、鉄道建設・運輸施設整備支援機構、中日本高

速道路および各施工 JV の関係皆様にご多大なるご協力・ご助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通白書, 2020.
- 2) 佐藤政勝, 石渡正夫, 近藤伸治, 山中栄輔. 条溝突起付 H 形鋼を用いた鉄骨コンクリート部材の構造特性とその応用. 川崎製鉄技報. 1980, vol. 12, no. 4, p. 637-652.
- 3) 加藤親男, 佐藤政勝, 三好弘高, 寺田利坦, 大谷輝夫, 有賀勇. 縮鋼管の製造とその特性. 川崎製鉄技報. 1981, vol. 13, no. 1, p. 179-193.
- 4) (財) 先端建設技術センター. 先端建設技術・技術審査証明 報告書 REED 工法 (鉄骨コンクリート複合構造橋脚構築工法). 1998.
- 5) 大久保浩弥, 辰見ター. 突起付き鋼材の高力ボルト摩擦接合継手に関する基礎的検討. 土木学会第 58 回年次学術講演会. 2003, I-155, P. 309-310.
- 6) 大久保浩弥, 森川孝義, 岡由剛. 突起付 H 形鋼を用いた高耐震複合構造橋脚. 川崎製鉄技報. 1998, vol. 30, no. 1, p. 33-38.
- 7) 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編. 日本道路協会, 2017.
- 8) 市花圭一郎, 松尾聡, 干川正也. ハッ場ダム天端ピア部レベル 2 地震動への対応事例の報告. 土木学会第 74 回年次学術講演会. 2019, VI-718.
- 9) 国土交通省河川局, 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針 (案)・同解説. 2005.3.
- 10) 有山裕亮, 山崎啓治, 萩原直樹. 主鋼材へ突起付き H 形鋼を適用した大口径深礎の設計. 土木学会第 74 回年次学術講演会. 2019, VI-11.
- 11) 萩原直樹. 深礎杭における補助工法の施工事例 大口径深礎杭の合理化施工の取組み—新東名高速道路河内川橋 (仮称) —. 基礎工. 2021, vol. 49, no. 2, p. 70-72.



山口 昭



河合真利奈