

# 耐震補強および維持管理性向上を図った有ヒンジラーメン橋の外ケーブルを用いた連続化

伊藤 彰浩\*1・大淵 将宏\*2・安藤 直文\*3

静岡県が実施した、有ヒンジラーメン橋の外ケーブル補強を用いた耐震補強に関する取り組み事例として、設計段階における補強方針の決定、工事における課題解決と、供用しながら施工を進めた外ケーブルの緊張管理方法などを報告する。

キーワード：維持管理、有ヒンジラーメン橋、外ケーブル補強、半断面施工

## 1. はじめに

モータリゼーションの発達とともに、道路の整備は急速に進み、経済活動の発展、生活環境の向上などに大きく寄与してきたが、近年は、人口減少や少子高齢化の進展に伴う生産年齢人口の減少、切迫する巨大地震や激甚化する自然災害への備え、施設の老朽化や交通事故への対策など、道路を取り巻く状況は厳しさを増している。

高度成長期に大量に建設された橋梁についても、老朽化、機能や構造の陳腐化が進むなかで、交通量の増加や車両の大型化、走行性の改善などの社会ニーズへの対応とともに、道路の安全・安心を確保するため、適正な管理が求められている。

本稿では、一般国道 362 号の徳山バイパスに建設された

涼徳橋における耐震補強によるヒンジ部の連続化の事例を、設計から施工までの観点で報告する。

一般国道 362 号は、愛知県豊川市を起点とし、静岡県中西部の山間地域を経て、静岡市に至る第 2 次緊急輸送路に指定されている幹線道路である。涼徳橋は、1980 年に、一級河川大井川を渡河する地点に架橋された橋長 243 m の PC 5 径間有ヒンジラーメン箱桁橋である。涼徳橋の位置図を図 - 1 に、全景を写真 - 1 に示す。

静岡県では、大規模災害発生時に、救急・救命活動や支援物資の輸送、復旧・復興活動を迅速に行うため、「静岡県地震・津波対策アクションプログラム 2013」に基づき、緊急輸送路を始めとした橋梁の耐震対策を実施<sup>1)</sup>しており、涼徳橋の耐震対策では、耐震性能の向上、走行性の改善と、維持管理面にも配慮し、3 箇所<sup>2)</sup>のヒンジの連続化を目的に、主桁補強、および橋脚の鋼板巻立て補強を実施した。

実施にあたっては、代替路を確保できない地理的条件の



図 - 1 対象橋梁位置図



写真 - 1 涼徳橋全景



\*1 Akihiro ITO

静岡県交通基盤部  
道路局 道路整備課



\*2 Masahiro OBUCHI

(株)千代田コンサルタント  
構造事業部 構造室



\*3 Naofumi ANDO

三井住友建設(株)  
土木本部 土木技術部

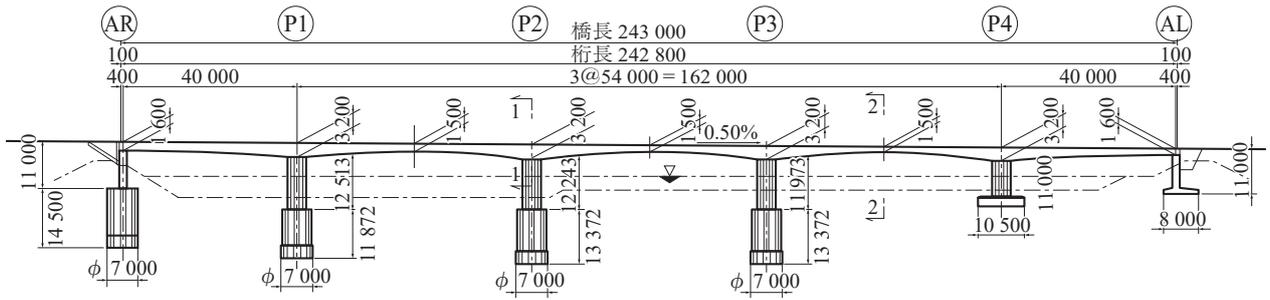


図 - 2 涼徳橋 全体一般図 (側面図)

表 - 1 橋梁ごとの対策事例

	ヒンジ部の変状	代替路の有無	対策
① 涼徳橋	有り	無し	連続化 + 橋脚耐震補強
② 柳崎大橋	無し (軽微)	有り	橋脚耐震補強

なかで、施工時も交通を確保する必要があること、狭隘な箱桁空間内での確実な施工が求められること、などの課題があったなかで、構造的な性能や品質の低下をもたらすことなく、経済性、施工性を向上させる手法<sup>2,3)</sup>を検討し、施工を行った。

## 2. 対象橋梁

一般国道 362 号には、一級河川大井川の中流域に 2 橋 (涼徳橋、柳崎大橋) の有ヒンジラーメン橋が架橋されている。両橋はほぼ同年代に架橋されており、中央ヒンジ部における発錆などの変状傾向の違いを踏まえ、それぞれに必要な耐震対策を講じている (表 - 1)。

中央ヒンジ部の変状としては、両橋とも大きな垂れ下がりには生じていなかったが、涼徳橋では今後の構造的な弱点を解消し、橋梁全体の耐震性能の向上、維持管理性の向上、およびライフサイクルコストの低減を図ることを目的に中央ヒンジ部の連続化を行った。涼徳橋の側面図を図 - 2 に、断面図を図 - 3 に示す。

## 3. 設計での取組み事例

### 3.1 外ケーブルによる補強設計

橋梁全体構造に対して、基礎をバネ値で評価し、連続化前後で非線形動的解析による耐震性能照査を実施し、以下の補強方針を決定した。

中央ヒンジ部は、桁高が低くプレストレスを効果的に導入できないことから、中央ヒンジ部を連続化して上部工の発生応力度を照査した結果、大容量ケーブルを用いても許容値を超過する結果となった。そこで、以下の①～⑤の設計を実施した。

① 大容量の外ケーブルを使用すると、定着部、偏向部に大きな応力が発生し補強が必要になること、既設上部工桁内部という狭隘な空間での施工性 (ハンドリング)

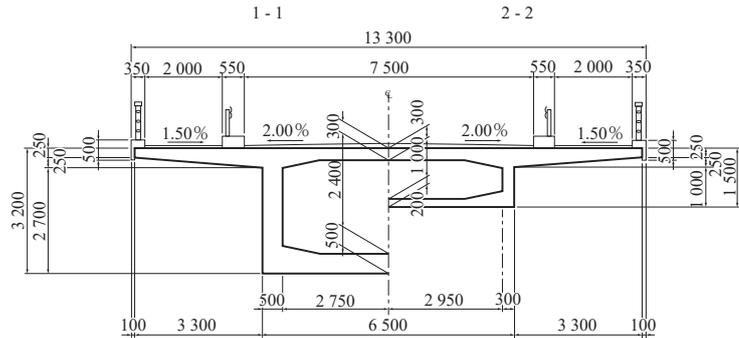


図 - 3 涼徳橋 上部工断面図

が悪くなることから、使用ケーブルの容量 (径) を下げるとともにプレファブケーブルを選定した。また、PRC 構造 (ひび割れは発生するが、PC 鋼材は降伏しない程度の応力状態に抑えることで、緊急輸送路としての機能を確保する) として設計した。

- ② 死活荷重載荷時には既設主桁断面 + 外ケーブル構造で抵抗し、発生応力度が許容応力度以下となるように設計を行い、使用する外ケーブル容量を決定した。温度変化時には、中央ヒンジ部の主桁下面に発生する引張応力度に抵抗するために、主荷重載荷状態で決定した外ケーブル補強に加えて、桁下面に鋼板接着による補強を行った (表 - 2)。
- ③ レベル 2 地震時には、曲げ耐力が不足したため、上記補強に加えて、下床版、上床版下面に対し鋼板および炭素繊維で補強した。
- ④ 下部工はレベル 2 地震動において、せん断、曲げともに耐力が不足したことから、河積阻害率も考慮し鋼板巻立て補強を採用した。
- ⑤ ラーメン構造柱頭部は、既設の埋込み鉄筋に十分な定着長が確保されていたことから曲げ耐力が十分であり、補強は不要と判断した。

### 3.2 定着部付近の補強設計

柱頭部横桁には外ケーブル定着による割裂応力が生じることが考えられたことから、柱頭部を取り出した FEM 解析を実施した。補強設計においては、既設横桁の鉄筋および施工時に配置された横締め PC 鋼材を考慮し (図 - 4)、不足する分を補うように補強量を設定した。コンクリート表面に生じる引張応力度に対する補強としては、鉛直方向に炭素繊維シート補強 (図 - 5) を行った。

表 - 2 上部工 (常時) 検討結果一覧表

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

主要断面	既設								補強 (上段: 外ケーブル連結のみ / 下段: 補強後)								
	A1 ~ P1		P1 ~ P2		③		④		①		②		③		④		
	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	
荷重ケース																	
主荷重	全死荷重時 $-1.5 \leq \sigma_a < 14.0$	2.45	3.45	1.75	2.99	0.00	0.00	0.00	0.00	2.34	3.72	2.71	3.49	0.41	1.98	0.34	2.07
	補強	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	設計荷重時 $-1.5 \leq \sigma_a < 14.0$	1.88	-3.24	0.91	-1.44	1.75	-3.19	1.64	-3.24	4.22	0.49	3.61	2.06	2.16	-1.21	2.00	-1.26
	補強	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
従荷重	温度変化時 $-2.0 \leq \sigma_a < 16.1$	1.56	-2.71	1.22	-2.90	1.13	-3.20	1.52	-2.75	4.18	0.52	4.83	-0.84	3.05	-4.41	2.54	-4.01
	補強	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.92	0.35	2.26	0.92
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	鋼板補強 6 mm	鋼板補強 6 mm	-	-

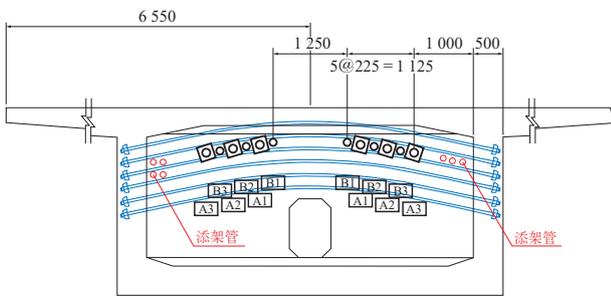


図 - 4 横締め鋼材と外ケーブルの定着位置

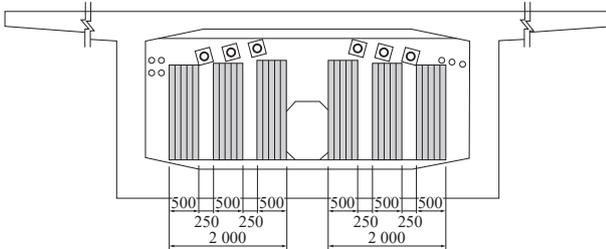


図 - 5 定着部付近の炭素繊維シート補強

### 3.3 連続化による補強効果

連続化により橋梁全体の構造系を変更した結果、構造系としての不静定次数が増加することで、耐震性能が向上するが、それ以外にも、連続化による以下の補強効果が確認できた。P4 橋脚だけ他橋脚に比べて橋脚高さが低く、かつ直接基礎形式となっていることから、橋梁全体系で耐震性照査を行うと P4 橋脚に荷重が寄る (分担重量が増える) 傾向が確認されていた。

しかしながら、連続化構造とすることで橋軸直角方向の荷重分担のバランスが良くなることで (図 - 6)、P4 橋脚も含め全橋脚での応答曲げモーメントが減少する傾向となり、連続化補強の効果があることが確認された。橋梁全体の補強概要図を図 - 7 に示す。

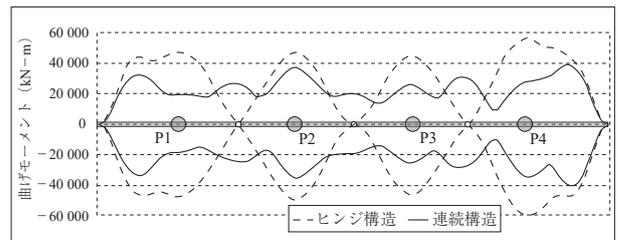


図 - 6 橋軸直角方向発生曲げモーメント比較

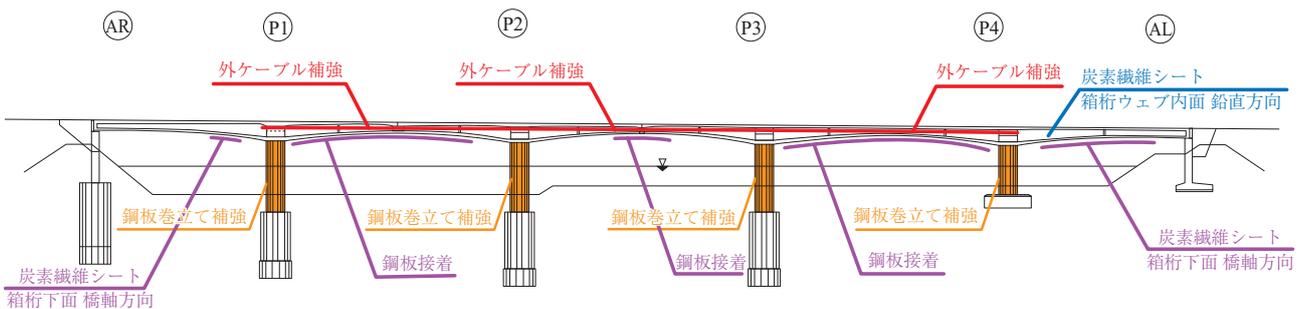


図 - 7 橋梁全体の補強概要図

## 4. 施工での取り組み事例

### 4.1 外ケーブルに関する課題

設計では、各中央径間に必要な補強用外ケーブルの総容量は総有効緊張力で 12 000 kN 程度が必要となり、上部工の断面形状から各径間 SEEE F200TS - 6 本を配置し、中間支点部の柱頭部横桁にたすき掛け定着する計画としていた。たすき掛け定着のため、柱頭部の横桁には 12 箇所の削孔が必要となる。

工事着手前の発注者、設計者を交えた連絡会議において、外ケーブル施工における課題を再検討し、既設横桁の埋込み鋼材と本施工での外ケーブルの削孔において、削孔位置に余裕が少ないこと、既設埋込み鋼材の位置誤差が懸念されることを確認した。

このような技術的難度の高い削孔を実現するため、既設鋼材の損傷リスクを回避し、品質を確保したうえで確実に削孔する方法として、以下の 4 案を提案した。

- ① 削孔数の低減方法
- ② 既設鋼材の確実な位置探査の方法
- ③ 既設鋼材を損傷しない削孔方法
- ④ 削孔精度を確保する方法

### 4.2 外ケーブルの合理的な配置

外ケーブルは、プレファブケーブルの特性を活かし、カップラーで連結する構造に変更した(図-8)。

この結果、柱頭部横桁の削孔を 12 箇所から 6 箇所に半減することができ、削孔による既設鋼材の損傷リスクの低減、削孔の横方向間隔を確保することができた。

### 4.3 既設鋼材の探査

柱頭部横桁に配置されている横桁横締め鋼材は曲線加工された PC 鋼棒φ32 であるため、横桁内部では位置誤差が懸念された。また、横桁表面から深く配置されているため、RC レーダーでは探査が不可能であった。そこで、横桁横締め鋼材定着端の位置測量を行うことで、横桁内部での配置形状を立体的に把握し、外ケーブル位置との関係を確認した。本橋は、幸いにも建設当時の資料(写真-2)が保

管されており、位置推定の大きな参考とすることができた。削孔後に判明した横桁横締め鋼材の位置誤差は微小であり、外ケーブル配置には影響しないことを確認した。

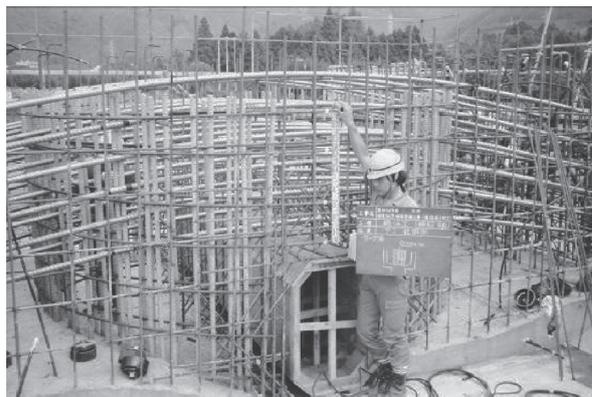


写真-2 柱頭部横桁の施工状況 (建設時資料より)

### 4.4 外ケーブルの貫通削孔

外ケーブルの配置位置は、橋梁全体での構造系から決定されているため、削孔位置を大きく変更することができない。そこで、横桁横締め鋼材を損傷させることなく、所定の位置を削孔するウォータージェット工法(以下、WJ)を用いた。部材厚 4.0 m の柱頭部横桁に対する施工性確認として、実物大の供試体を作成し、WJ でののはつり出しによる削孔位置の貫通精度に対する施工性確認試験を実施した。試験の結果、施工に使用する WJ 機器の固定方法および削孔方向を決定した。

### 4.5 中央ヒンジ部の連続化における工夫

中央ヒンジ部の連続化は伸縮継手を撤去し、鉄筋組立ておよびコンクリート打設ののち、外ケーブルの緊張を行った。連続化工事においては、迂回路を確保したうえで道路を一時通行止めにして工事を行うことが一般的である。

しかし、本工事は前述のとおり、近隣に迂回路がなく、地域住民の生活道路として利用されているため、通行止めを実施することが困難であった。このため、主桁を半断面

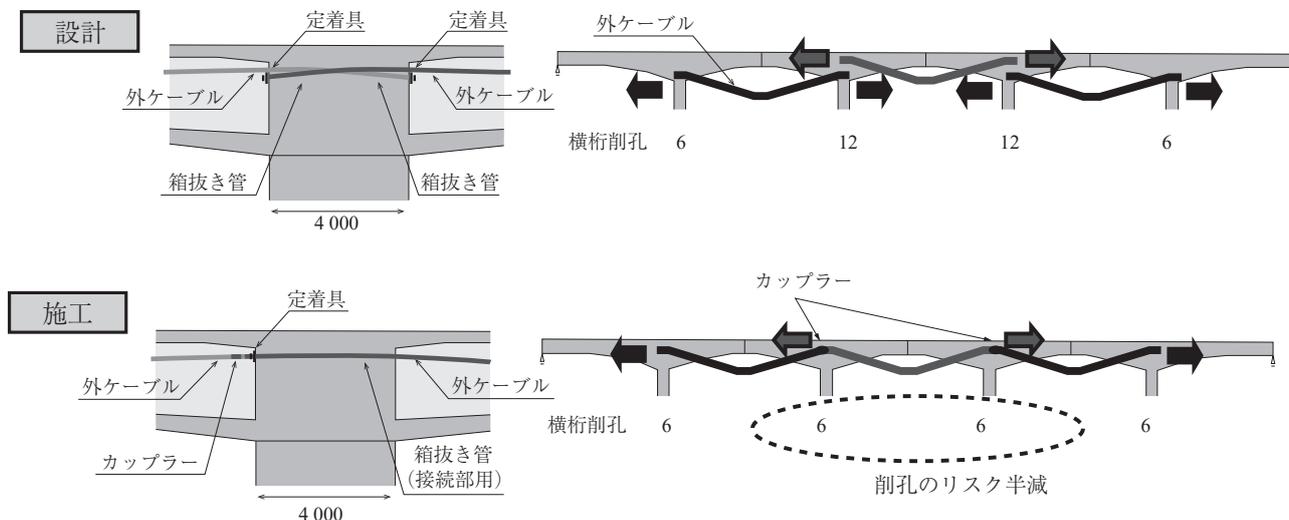


図-8 補強用外ケーブルの配置変更

ずつ施工し、昼夜片側交互通行で対応した。

外ケーブルは連続化構造に対する応力検討結果を反映し、施工ステップを考慮した3段階緊張を行った。

STEP-1：施工した半断面に配置されている外ケーブルを、施工した半断面自重と1車線分の活荷重に対しフルプレストレスとなる量（約50%）を緊張する。

STEP-2：車線を入れ替えて残り半断面施工後、その断面に配置されている外ケーブルを100%緊張し、全断面と1車線の活荷重分を負担させる。

STEP-3：STEP-2と同時に、最初の半断面の外ケーブルを100%で再緊張する。

これにより、連結順序に合せた効率的な車線規制が可能となり、連続化断面に均等に緊張力を導入できた。本工事の施工フローを図-9に、完成全景を写真-3に示す。

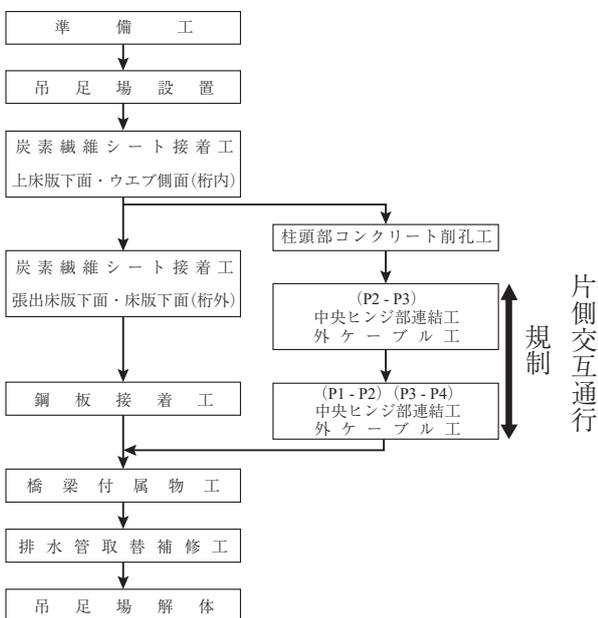


図-9 施工フロー



写真-3 完成全景

## 5. おわりに

有ヒンジラーメン橋は1960年代から1980年代にかけて

建設されたPC長大橋に多く採用された構造形式の一つである。有ヒンジラーメン橋は構造解析が比較的簡便であり、架設時と完成時の断面力状態が類似することから張出し架設工法に適しており、長大橋の発展に大きく寄与してきた構造である。

しかしながら、いくつかの橋梁においては、長期間の供用を経て、中央径間の垂れ下がりや、中央ヒンジ部の角折れによる走行性悪化、中央ヒンジ節点部の摩擦による隙間が橋面段差となるなどの不具合が発生している事例がある。

これらの不具合は、各管理者によって対策がなされているが、橋梁ごとの異なる状況に応じた対策を講じる必要があり、対策が遅れた場合には、通行止めを余儀なくされるなど、リスクの顕在化も考えられる。本橋では、迂回路の確保が困難である状況も踏まえ、ヒンジ部の連続化による耐震補強の実施が有効であると判断した。

なお、静岡県では、涼徳橋以外にも有ヒンジラーメン橋を4橋管理しているが、ヒンジ部の健全性に問題がないことを確認しており、連続化は実施していない。

本橋の耐震補強設計、補強工事に際しては、箱桁内部に、小さなキャビネットや書類箱などが保管されており（写真-4）、その中に、設計・工事に関する資料や施工当時の写真が多数保存されていた。また、当時の事業担当者が工事報告として、施工時の状況をまとめた資料が存在していた。これらの資料から、設計時の条件、施工時の鋼材配置状況、および当時の高い精度の施工を確認することができたことで、狭隘な空間での施工を余儀なくされた連続化補強の実現が可能となり、維持管理における資料保管の重要性や施工管理精度の重要性を再認識することになった。

工事は平成26年1月に無事竣工することができた。

本橋で報告した設計および施工事例が、今後、同種や類似の工事の一助となれば幸いである。

最後に、本橋の耐震補強に関して多大なるご指導・ご協力を賜りました関係者各位に深く御礼申し上げます。



写真-4 橋梁箱桁内の竣工書類状況

## 参考文献

- 1) 静岡県：社会資本長寿命化行動方針，平成25年3月
- 2) 大淵将宏，福田 暁，松岡宏典：有ヒンジ橋の外ケーブルを用いた連続化，第23回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.305-308，平成24年10月
- 3) 加藤就一，近藤克己，安藤直文，柴田直紀：外ケーブルを合理化配置した有ヒンジ橋の連続化（涼徳橋），第23回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.375-378，平成24年10月

【2019年10月9日受付】