

論文・報告

阿波しらすぎ大橋（東環状大橋）の設計・製作・施工

～ケーブルイグレット橋の工事報告～

A Design, Fabrication and Construction of AWASHIRASAGIOHASHI

福嶋 貴生 *1
Takao FUKUSHIMA

井上 岳大 *2
Takehiro INOUE

岩田 幸三 *3
Kozo IWATA

本工事は、徳島外環状道路の吉野川河口部に位置する阿波しらすぎ大橋のうち、干潟部である P1-P5 間に架設された『ケーブルイグレット橋』の工事である。ケーブルイグレット橋は、斜張橋とケーブルトラス橋の特徴を合わせた世界に類のない構造形式であり、2012年3月に竣工した。

本報告では、設計（耐風対策）と工場製作、現場施工について報告する。

キーワード：ケーブルイグレット、耐風対策

1. はじめに

阿波しらすぎ大橋は、徳島外環状道路の東側部分の吉野川河口に位置する、国道 11・55 号線のバイパス機能を持つ徳島東環状線の中心的役割を担う橋梁であり、橋長 1291m は、河川に架かる道路橋としては、四国最長となる。

吉野川河口域は、希少種が生息する広大な干潟が広がっており、この希少種への影響をできる限り少なくするため、P1～P5 の干潟部の上部工形式にケーブル形式を採用し、長支間化を図っている。また、ケーブル形式は干

潟に生息する鳥類の飛行を妨げることが懸念されることから、主塔高さを低くでき、ケーブル段数を減らすことが可能な、世界に類のない『ケーブルイグレット形式』を採用した。この形式は、斜張橋とケーブルトラス橋の特徴を合わせた形式であり、ケーブル段数を減らした外観が、徳島県の鳥である白鷺（イグレット）のはばたきに似ていることから命名された形式である。

本稿は、阿波しらすぎ大橋のケーブルイグレット部の設計・製作・施工について報告する。

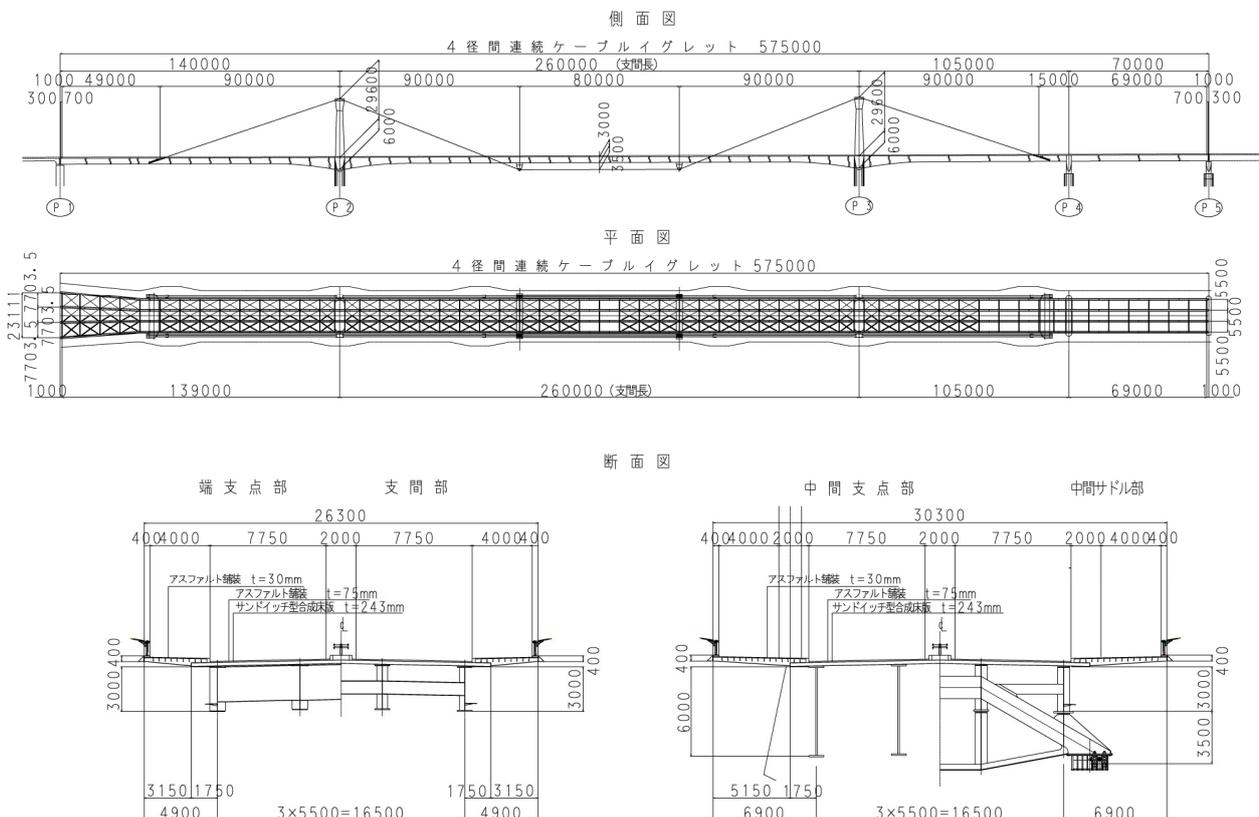


図1 一般図

*1 川田工業株式会社橋梁事業部工事部大阪工事部工事課 係長
*2 川田工業株式会社生産本部四国工場製造一課
*3 川田工業株式会社橋梁事業部技術提案部大阪提案室 課長

2. 橋梁緒元

工 事 名：東環状大橋（仮称）上部工（第6分割）工事
 道路規格：第4種第1級
 活 荷 重：B活荷重
 橋梁形式：4径間連続ケーブルイグレット橋
 橋 長：575m
 支 間 長：139.0+260.0+105.0+69.0m
 幅 員：32.604~26.300m
 主 塔 高：29.6m
 主桁形式：4主合成鋼桁
 床版形式：サンドイッチ型合成床版（SW床版）

3. 設計

本橋の主桁はねじり剛性の小さいI桁構造であること、ケーブルが並列に配置されていることから、桁とケーブルに対する耐風対策が重要なポイントであった。よって、ここでは、桁本体の振動性状を確認するために行った3次元風洞実験と実橋振動実験、並列ケーブルの制振対策を決定するために実施した風洞実験について報告する。

(1) 模型による3次元風洞実験

本橋は、コンサルタントの設計時に2次元の風洞実験を実施しており、以下に示す対策が反映されている（図2）。

- ①主桁ウェブに抑流板を設置
- ②高欄にフラップを設置
- ③歩道部鋼床版端部にフェアリングを設置
- ④P1-P2およびP3-P4間の一部、P2-P3間全長に下横構（H200）を設置

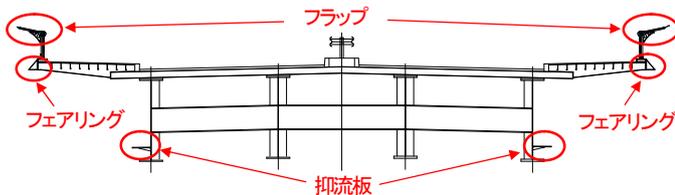


図2 制振対策

しかし、実験されている架設系のモデルが桁のみを架設した場合のものであり、実施工において、最も揺れると予想される桁にSW床版を設置したモデルで確認する必要があると判断したため、上記モデルの2次元および3次元の風洞実験を追加実施し、耐風性能の確認を行った。その結果、桁にSW床版を設置した場合のモデルにおいて、フラッター発現風速が許容風速（42.5m/s）を満足しなかったため、下横構の剛性をアップさせることで対応した（図3）。

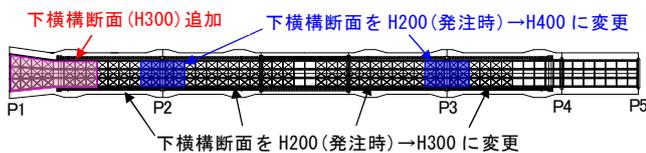


図3 下横構の剛性変更

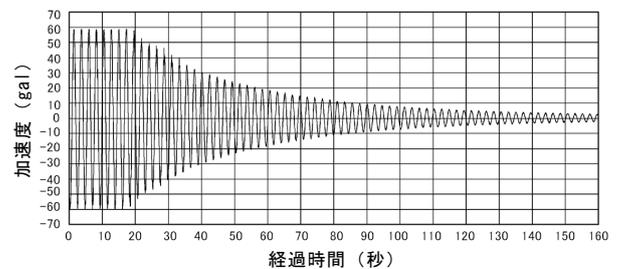
(2) 実橋振動実験

前項の風洞実験にて確認した桁本体の振動性能の妥当性を確認するために、実橋において起振機（写真1）を用いた鉛直たわみ1次モードおよびねじれ1次モードを対象とした振動実験を実施した。なお、橋体の加振には、中央径間の支間中央付近の外桁上に配置した、重錘移動式の大型起振機を使用した。

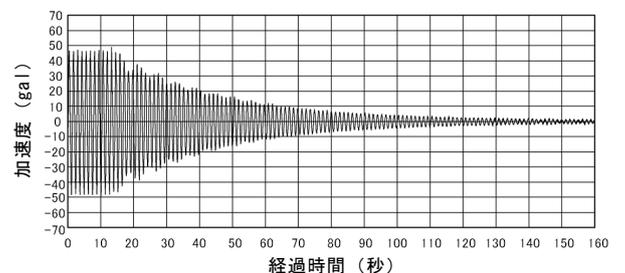


写真1 起振機

自由振動実験から得られた自由振動波形を図4に示す。振動実験結果から推定した完成時の振動数と耐風安定性の評価に用いた固有振動数との相違は、鉛直たわみで約3%（解析値0.410Hz、実測値0.423Hz）、ねじれで約9%（解析値0.695Hz、実測値0.760Hz）であった。また、対数減衰率の平均値は鉛直たわみで0.052、ねじれで0.032であり、風洞実験時の仮定値である0.02を両振動モードとも満足する結果であった。



a) 鉛直1次モード



b) ねじれ1次モード

図4 振動実験結果

(3) ケーブルの耐風対策

本橋のケーブルは斜ケーブルが3本、水平ケーブルが4本並列に配置されている。並列に配置されたケーブルは、

風下側のケーブルが上下に振動するウェイクギャロッピング（WG）が問題となる。WGは、ケーブル中心間隔とケーブル径Dとの比が1.5～6.0の場合に発生しやすい¹⁾。本橋のL/Dは斜ケーブルで3.39、水平ケーブルで4.01であり、WGの発生が懸念された。そこで、実橋ケーブルの制振対策を決定するために、**図5**に示す実物大ケーブルを使用した風洞実験を実施した²⁾。

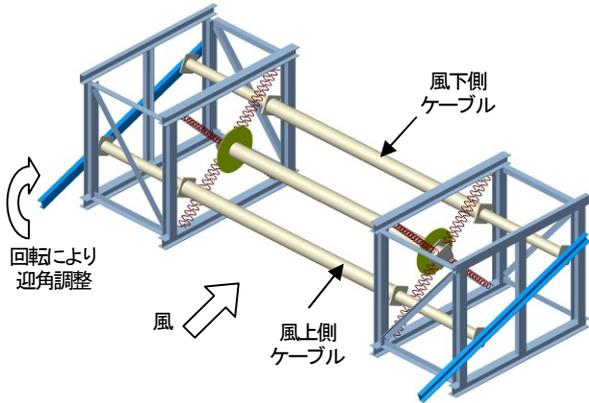


図5 ケーブル風洞実験装置

風洞実験の結果、斜ケーブル、水平ケーブルとも風速6m/sでWGが発生することが確認された。斜ケーブルは、制振ダンパーを設置できることから、WGの対策として**写真2**に示す高減衰ゴムダンパーを設置することにした。



写真2 斜ケーブルの制振対策（高減衰ゴムダンパー）

水平ケーブルについては、制振ダンパーを設置する箇所がないことから、WGの対策として、ヘリカルワイヤを設置し、4本のケーブルを連結する金具を3カ所に設置することとした。ヘリカルワイヤは、ピッチ660mm、ワイヤ径12mmを2本設置することで、風速15m/s以下の範囲でWGを抑制できることを風洞実験で確認した（**写真3**）。

4. 工場製作

(1) 落とし込みブロック部の調整方法

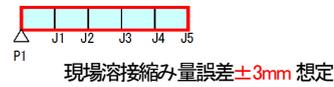
当社製作範囲であるP1～P2間の架設は、P1側から片押し架設であるが、P2主塔部手前のJ11～J13ブロックは落とし込み架設となる。また、主桁継手方式は現場溶接継



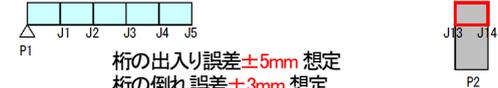
写真3 水平ケーブルの制振対策（ヘリカルワイヤ）

手であるため、溶接の縮み量の誤差、施工誤差を考慮した製作を行う必要があった。想定される誤差量を**図6**に示す。

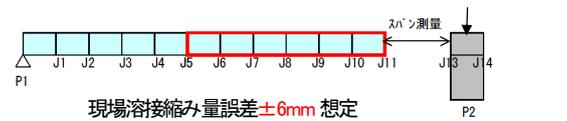
架設ステップ1: P1～J5架設



架設ステップ2: P2主塔部J13～J14架設



架設ステップ3: J5～J11架設

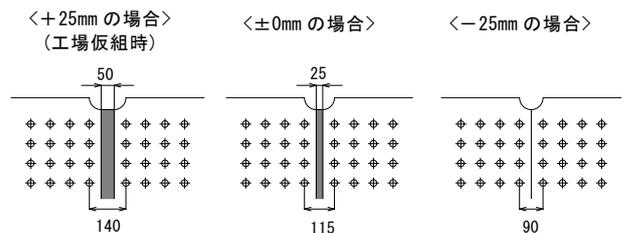


架設ステップ4: J11～J13架設



図6 想定される誤差

架設ステップ3のJ5～J11架設完了後にJ11～J13のスパン測量を行い、J11～J13ブロックを製作すると工程上の問題があるため、J12～J13ブロックを調整部材とし、予めJ13を+25mm長く製作する（**図7**）。測量後にその結果を反映して、J13部の仕口を切断する。この方法により、スパン測量後約2.5週間（主塔基部のコンクリート養生期間中）で調整した桁を現場に搬入することができ、現場工程に影響を及ぼすことなく対応できた。



- ・最大中心間隔は150mm以下のため、問題なし。
- ・SPLは+25mmの場合で、外形切断しておく。（最大縁端距離は問題なし）

図7 J13の調整方法

(2) 主塔の曲がりの規格値

徳島県土木施工管理基準より、柱の曲がりの規格値はL/1000であり、本橋の主塔の高さL=34.5mであることから、規格値は34.5mmとなる。主塔のキャンパー倒れ量は最大で26.2mmであるため、規格値に収まってしまう。よって、より精度良く製作するために、規格値の50% (L/2000) で管理した。

5. 現場施工

(1) 架設の概要

本橋の架設ステップを図8に示す。まず、P2, P3主塔基部をクレーン台船にて架設し、コンクリートを打設する。その後、P1~P2径間をトラッククレーンおよびトラベラークレーン+ベント工法にて架設し、P1~P2径間部と平行して、P3~P5径間をポンツーンにて架設する。側径間の架設完了後にP2, P3主塔の架設を平行して行い、主塔架設完了後にP2~P3中央径間の架設を行う。中央径間の架設は、架設用ケーブルを併用したトラベラークレーンによる張出し架設とし、P2側およびP3側から同時に行う。主桁閉合後に、架設用ケーブルの撤去、本ケーブル

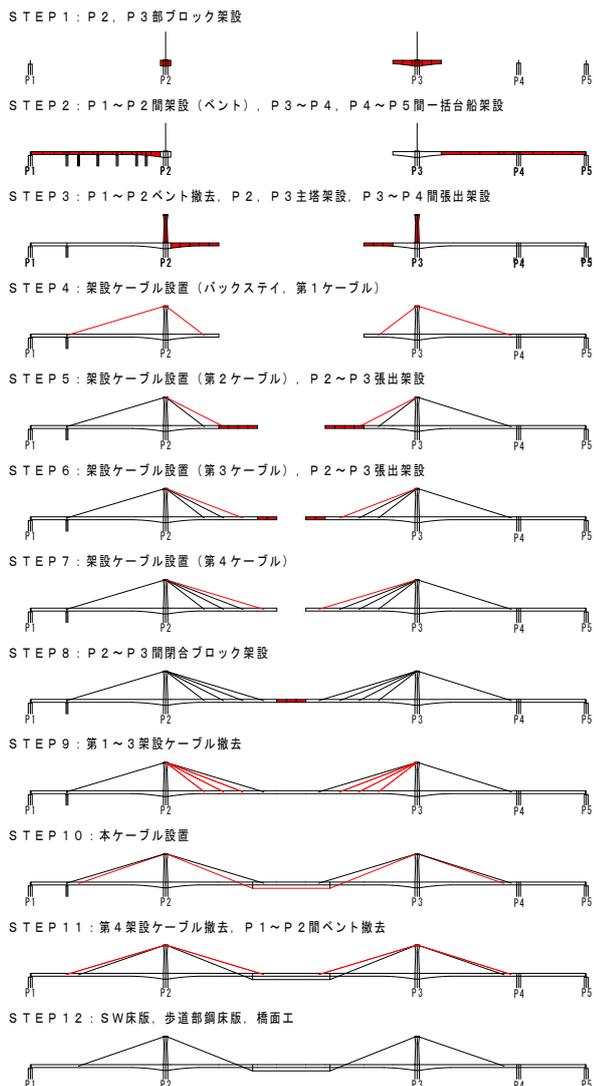


図8 架設ステップ

の設置を行い、本ケーブルの調整後に、SW床版および歩道部鋼床版を設置する。

(2) 主塔基部の架設

桁高6m, 部材重量が45t以上ある主塔基部の架設は、250t吊りの機重機船を用いて行った(写真4)。P2主塔部は、干潟部であり、起重機船の喫水が確保できなかったため、漁船航路の確保および作業能力から深さ・幅を決定し浚渫を行った。また、起重機船をスパット台船型(アンカー別途不要)に限定し、部材を輸送台船から起重機船へ積み替えることで、省スペースにて作業が行えるように計画した。

主塔基部は、橋脚とコンクリートで剛結される。剛結部のコンクリートはマスコンクリートとなることから、事前に有限要素法による非線形温度応力解析を実施し、最適なリフトを検討、打設に反映することで、ひび割れのないコンクリートの打設が行えた。



写真4 主塔基部の架設

(3) P1~P2側径間の架設

P1~P2径間部は、県道・堤防・河川上に架設する。県道上の架設は、3ステップに渡る県道切り回しを行い、通行止めを行わずに、160t吊りのトラッククレーン+ベントにて架設した。

堤防道路路については、ケーブル定着横桁が取り付けられているため、部材重量が43tと重いことから、県道上から500t吊りのトラッククレーンにて架設を行った。

河川上は、クレーンの設置が不可能であることから、桁上に650t吊りのトラベラークレーンを配置してP1側からP2側へ架設を行った(写真5)。

(4) P3~P5側径間の架設

P3~P5径間部は、吉野川のほぼ中央部に位置しており、栈橋やベントの設置ができないことから、ポンツーン架設を行った。ポンツーン架設は、P3~P4間とP4~P5間の2回に分けて実施した。特に、P4~P5間は、隣接工区の桁とP3~P4間の桁に挟まれた600mmと狭い空間に台船を差し込むという難易度の高い架設であったが、無事に架設を完了した(写真6)。



写真5 P1~P2側径間のトラベラークレーン架設



写真7 P2~P3中央径間の架設



写真6 P3~P5側径間のポンツーン架設



写真8 P2~P3中央径間の閉合

(5) P2~P3中央径間の架設

P2~P3中央径間部は、P2、P3側より並行して650t吊りのトラベラークレーンにて架設を行った。中央径間部は、ベントが設置できないため、主塔のストラットから架設用ケーブルを設置し、張出した桁を支持する方法とした。架設用ケーブルは、P2、P3側とも4段に設置した(写真7)。

本橋は、桁と橋脚が剛結となっているため、閉合時に架設した桁をセットバックできない。よって、閉合ブロックの架設前に、スパン測量を3日間行い、その結果を閉合ブロックに反映させた。その結果、問題なく閉合することができた(写真8)。

(6) 主塔の架設

側径間の架設完了後に、桁上の650t吊りトラベラークレーンを使用して主塔の架設を行った。主塔は、基部から塔頂までを架設し、その後、ストラット架設用のベントを主桁上に設置して、ストラットの架設を行い、左右の主塔を一体化させた(写真9)。

(7) ケーブル工

本ケーブルは、中央径間の閉合後に架設用ケーブルの1段、2段を撤去してから設置した。本ケーブルは、側径間の斜ケーブル、中央径間の斜ケーブル、中央径間の水平



写真9 主塔ストラットの架設

ケーブルからなり(図9)、最初に水平ケーブル(φ7×349:4本×2)から設置し、中央径間斜ケーブル(φ7×499:3本×4)、側径間斜ケーブル(φ7×499:3本×4)の順で架設した。

水平ケーブルは主桁の下側に配置される。そのため、下サドル間に横取り設備を有した展開設備(写真10)を設置し、橋面上に展開したケーブルをクレーンで展開設備に仮置きしてからケーブルの設置位置まで横取りした。

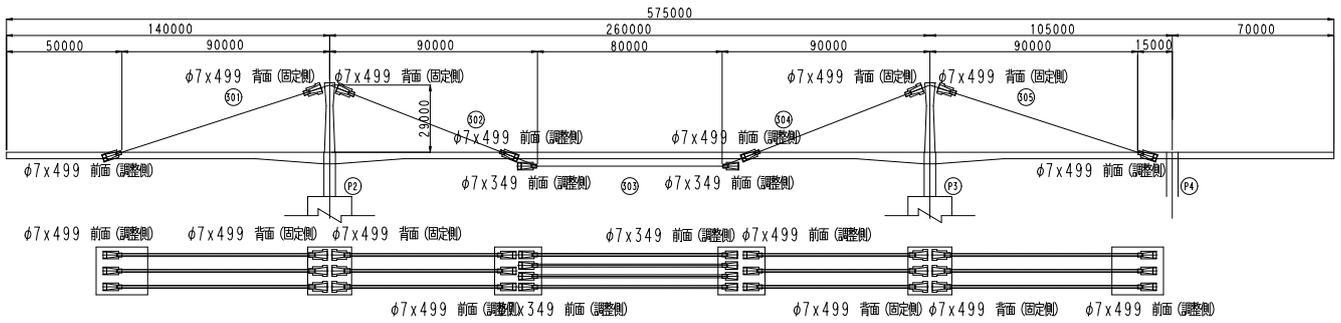


図9 ケーブル配置図

ケーブル誌元

ケーブル構成	φ7 x 349	φ7 x 499
断面図		
ケーブルNo.	303	301, 302, 304, 305
標準重量	109.7 kg/m	156.8 kg/m
切断荷重	23,770 kN	33,990 kN
弾性係数	19,600 N/mm ²	19,600 N/mm ²



写真10 水平ケーブル展開設備



写真12 側径間定着横桁部ケーブル定着

中央径間および側径間の斜ケーブルは、主塔の塔頂サドルと下サドルおよび定着横桁に定着される間に設置される。

斜ケーブルの架設は、サグ取り用の25t吊りクレーンを3台追加して合計5台のクレーンで設置した(写真11)。

側径間の斜ケーブル(バックステイクケーブル)は、塔頂サドルと定着横桁間に設置される。3本のケーブル間隔が狭いため、支圧板を一体構造とした(写真12)。

ケーブルの調整は、側径間斜ケーブル設置後にまず、側径間の1次調整、その後水平ケーブル→中央径間斜ケーブルの1次調整、水平ケーブルの2次調整→中央径間斜めケーブルの2次調整→側径間斜ケーブルの2次調整の順で行った。



写真11 水平ケーブル展開設備

6. おわりに

本橋は、斜張橋とケーブルトラス橋の特徴を合わせた世界に類のない『ケーブルイグレット橋』であり、工程の厳しい工事であったが、2012年3月に無事に工事が完了した。本橋の完成により国道11号線の慢性化した渋滞が緩和され、また、本橋が徳島県の新しいシンボルになることを願う次第である。

最後に、徳島県職員の皆様、施工管理の皆様、JV構成員である横河ブリッジ殿、アルス製作所殿に対し、多大なご指導ご協力をいただきました。紙面をかりて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所他：斜張橋並列ケーブルのウエイクギャロッピング制振対策検討マニュアル(案)，共同研究報告書第134号，1995.9.
- 2) 久保義人他：実物大模型を用いた並列ケーブルのウエイクギャロッピング特性，構造工学論文集，Vol. 58A，pp. 518～527，2012.3.