

転倒防止機能を備えた 塔状建物対応型トラベリング工法の開発

小 野 孝 一・三 幸 謙 一・春 川 久 郎

本工事は薬師寺の境内に遺る国宝の東塔（とうとう）の大規模解体修理のため、東塔を覆う素屋根を建設する工事である。奈良県発注の総合評価落札方式による入札物件であり、国宝である東塔の保護、周辺環境から素屋根をトラベリング工法により施工することが指定されていた。さらに2011年に日本を襲った東北地方太平洋沖地震の影響のため、トラベリング工事中においても大地震に対応し得る高い安定性が求められた。新たに考案した転倒防止機能を備えたトラベリング工法を実施し、無事工事を終えることができたのでここに紹介する。

キーワード：トラベリング、伝統建築物、解体復元作業、素屋根、油圧ジャッキ

1. はじめに

薬師寺は西暦680年、天武天皇の発願により、飛鳥の藤原京の地に造営が開始され、平城遷都後の8世紀初めに現在地の西ノ京に移転したものである（写真—1）。東塔は、薬師寺で唯一約1300年前の創建当時から現存する建物である。奈良県文化財保存事務所の調査の結果、内部を貫く心柱が空洞化するなど劣化が確認され、110年ぶりに10年間に及ぶ大規模解体修理が始まろうとしていた。

寺院境内という多くの制限がある中、無事素屋根をトラベリング工法により施工できた（写真—2）。大地震にも対応した転倒防止機構を中心に紹介する。



写真—2 素屋根西立面



写真—1 薬師寺 東塔

2. 概要

(1) 工事概要

工事名	国宝薬師寺東塔素屋根建設工事
発注者	奈良県教育委員会
設計	(株)東畑建築事務所
監理	(株)京成設計
施工	竹中・中村・大倭特定建設工事共同企業体
工期	2011年9月1日～2012年3月30日
構造・階数	S造、地上7階
建物高さ軒高	38.3m、棟高さ42.5m
素屋根平面積	920m ² （東西30m×南北28.5m）

(2) トラベリング概要

総移動距離・回数 22.5 m 4 回 (4.5 m × 3 回 + 9 m × 1 回)

移動体重量 最大 470 t (素屋根総重量約 1,000 t)

牽引装置 50 t センターホールジャッキ × 4 台

(3) 施工条件

国宝である東塔の周囲は回廊が近接しており、多数訪れる参拝客の安全性を確保しながら工事を進めなければならない (図-1)。また境内は全域史跡指定されており、遺構保存の観点から掘削等の禁止及び短期地耐力 160 kN/m^2 に制限され、入札時点からトラベリング工事が指定されていた。さらに類のない高さの塔状の素屋根をトラベリング施工することから技術提案用件の一つとして、建方から移動に至るすべての段階において、大地震にも対応し得る高い安定性が求められた (図-2)。

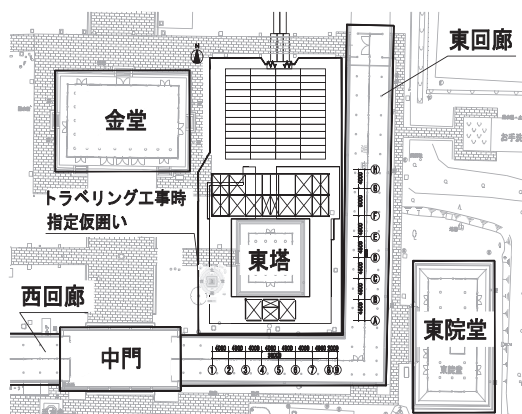


図-1 敷地平面図

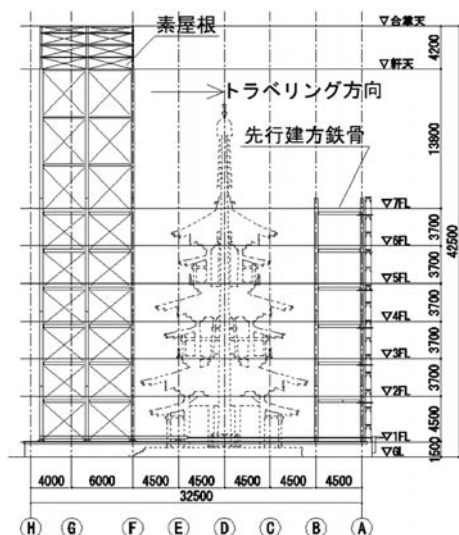


図-2 初回トラベリング時 南北方向断面図

3. 工事計画

(1) トラベリング実現に向けた課題の抽出

施工条件の中で安全にトラベリング工事を実施するために解決すべき課題は以下のとおりである。

- ①設計変更を少なくいかに牽引機構やレール、補強等を盛り込むか
- ②高さ 42.5 m の素屋根をトラベリングする中で、もっとも不安定となる初期トラベリング時の安定性をいかに確保するか
- ③7年後の素屋根解体時にも利用できるトラベリング機構をいかにローコストで実現するか

(2) 対策

通常、トラベリング機構を採用するうえで最も大きく変更を要するのはレールと取り合う柱脚部である。多くのトラベリング工法では、平滑度や強度確保、施工性から H 型鋼をレールに採用するが多いが、柱は斜材との接合部、柱脚アンカー部などで設計変更が必要であり、調整に時間を要していた。

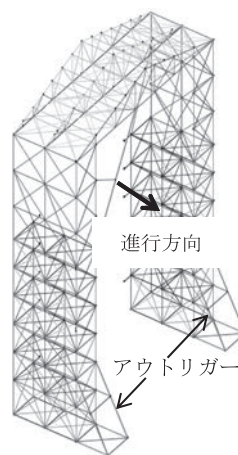
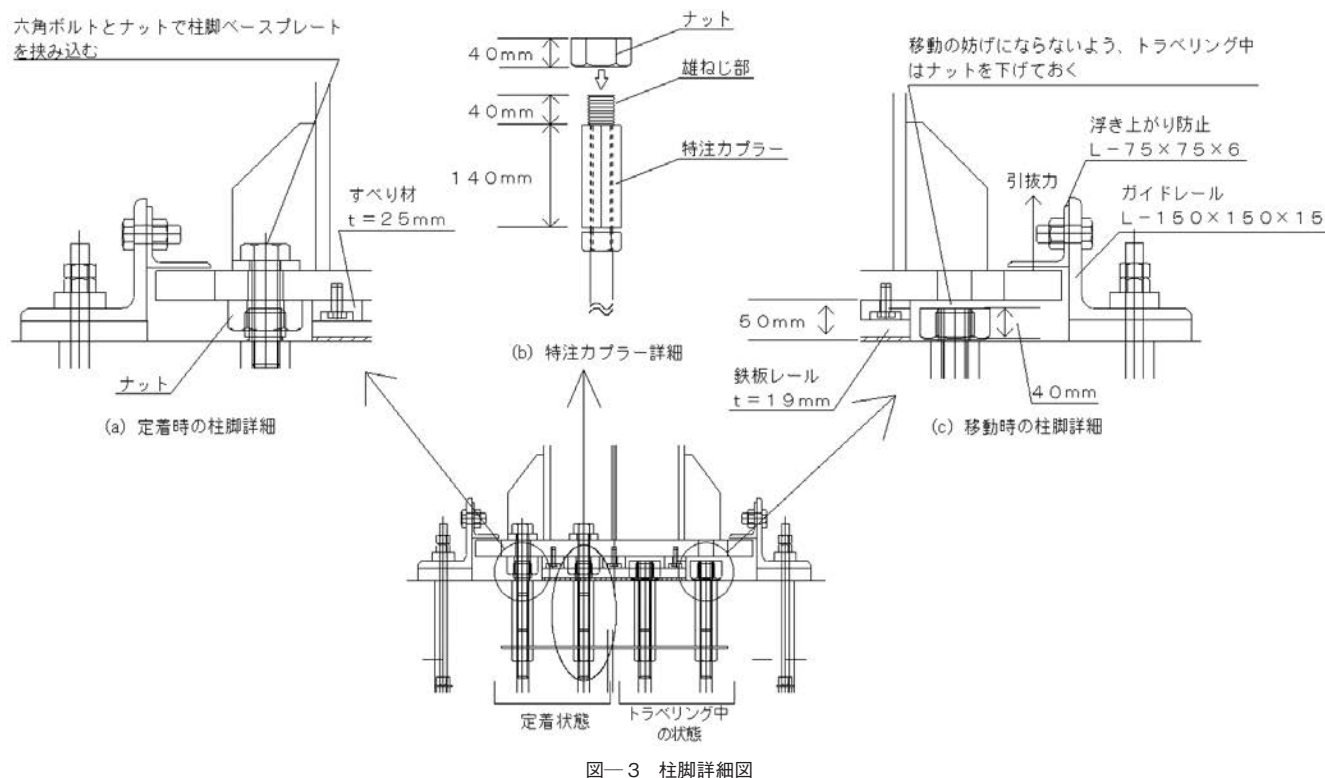
そこで今回、柱脚部の形状をほとんど変えることなく、かつ、レベル調整モルタル代 50 mm の中で対応できるトラベリング機構として、以下を考案、採用することとした。

- ①ベースプレート上部まで突出しているアンカーボルトを上部 40 mm を雄ねじとした長さ 180 mm の特注カップラー (長ナット) を基礎コンクリートに埋め込む納まりに変更 (図-3)
- ②レベル調整用モルタル代 50 mm の高さに納めるため、厚さ 19 mm の鉄板をレールに、厚さ 25 mm の低摩擦ナイロン樹脂 (商名: MC ナイロン) をすべり材に採用 (写真-3)

これらにより、移動の妨げにならず、移動完了後は柱脚ベースプレートを六角ボルトとナットで挟み込み、強固に支持する機構を柱脚形状、アンカーボルト配置等をほとんど変えることなく実現できた。この結果、7年後の素屋根解体時においても、補強プレースの再設置と六角ボルトとナットを緩めるだけでトラベリングが可能である。

(3) 転倒防止機構

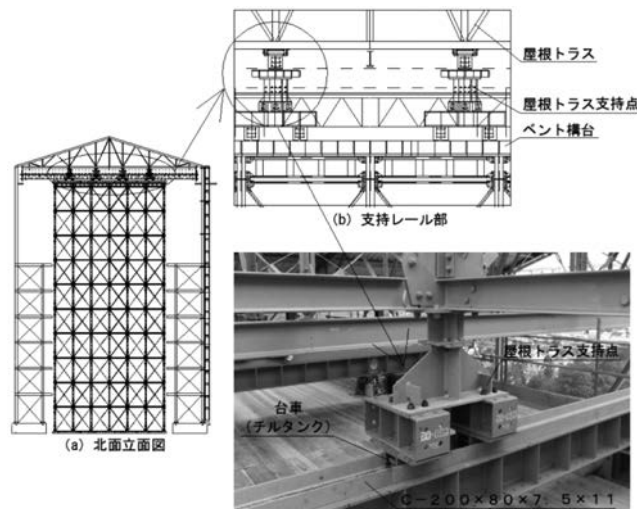
トラベリング初期段階は、素屋根高さが 42.5 m に対し、幅 9 m の非常に細長い形状となっている。移動中は地面と縁が切れているとはいえ、すべり材の静止摩擦係数 ($\mu = 0.2$) に加え、レール面に不陸、段差等があると大きな抵抗となるため、この状態で大地



震が発生すると素屋根が転倒する恐れがある。そこで以下の対策を講じることとした。

- ①横方向への滑動と柱脚部の浮き上がりを防止するためのガイドレールを設置
- ②移動方向前方の安定度を高め、柱脚引拔力を低減するためのアウトリガー（図—4）
- ③後方への転倒防止用にベント構台上部に設けた屋根トラス支持レール（写真—4）

これらを計画するに当たって、移動中でも震度5強の地震に耐え得ることを目標とした。



(4) 素屋根構造補強と牽引設備

本工事の素屋根は梁接合部がピン支持となっており、妻面の鉄骨と一体化されて成立する構造であった。このため、トラベリングステップ毎のフレーム解析を行ない、必要なブレース補強を行なった(図-5)。

同時に解析で得た柱脚部の反力から、滑り材の摩擦係数やレール継目の段差抵抗等を考慮して、油圧ジャッキ等の牽引設備を選定した。採用した牽引設備は、素屋根前方4か所から伸ばした呼び径 $\phi 32$ mmの総ネジPC鋼棒(写真-5)を前方のコンクリート基礎端部に設置した50 t油圧センターホールジャッキ(写真-6)で牽引する構成とした。牽引中、過大な負荷や偏差が生じないように、ジャッキ荷重を圧力計で、移動量をレーザー距離計(写真-7)で計測し、リアルタイムで監視できるシステムとした。

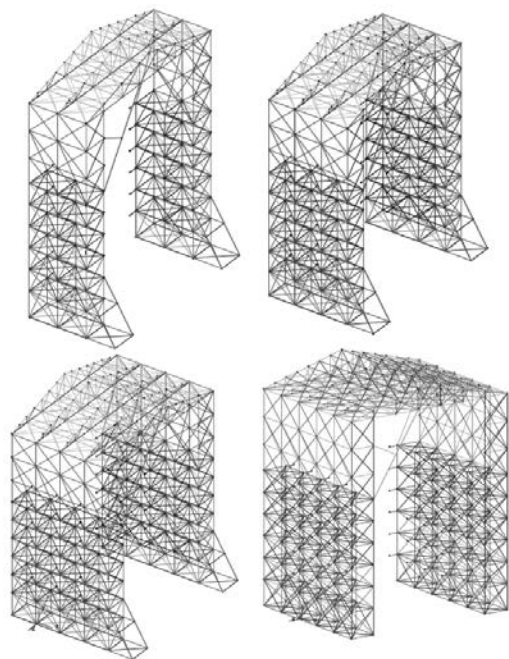


図-5 フレーム解析による補強計画

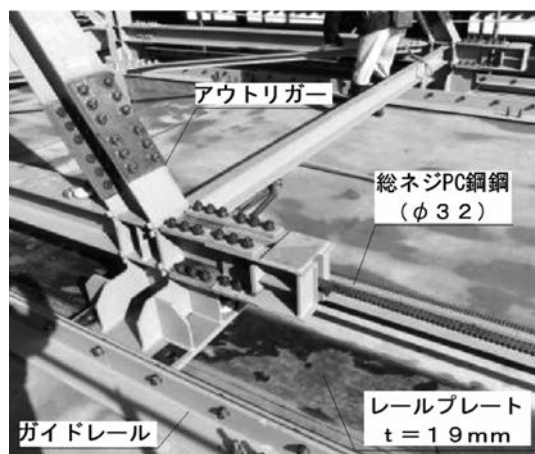


写真-5 PC 鋼棒設置状況



写真-6 ジャッキ設置状況

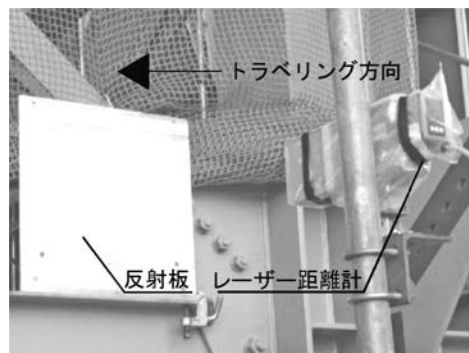


写真-7 レーザー距離計設置状況

4. トラベリング工事実施状況

トラベリングに先行して南側の鉄骨のみ西エリアから25 t ラフタークレーンを用いて建方を行なった。その後F-H 通り間に素屋根組立用のベント構台を設置し(図-6)、まず2スパン分の鉄骨建方と仕上げ工事を行ない、1スパン分トラベリングを行なった。以降、1スパンずつ、建方とトラベリングを繰り返した後、ベント構台の解体、残鉄骨建方を実施した(図-7)。

トラベリング当日は、KY ミーティング後、仮固定ボルトの撤去とレール面への界面活性剤塗布を行ない、9:00 より牽引を開始した。移動開始直後は、ナイロン樹脂製すべり材のスティックスリップ現象(すべり面での静・動摩擦係数差による振動)に起因する素屋根仕上げ材の振動音が発生したが、事前塗布した界面活性剤により納まった。トラベリング中の牽引荷重は移動体計算重量の20%程度(摩擦係数0.2)とほ

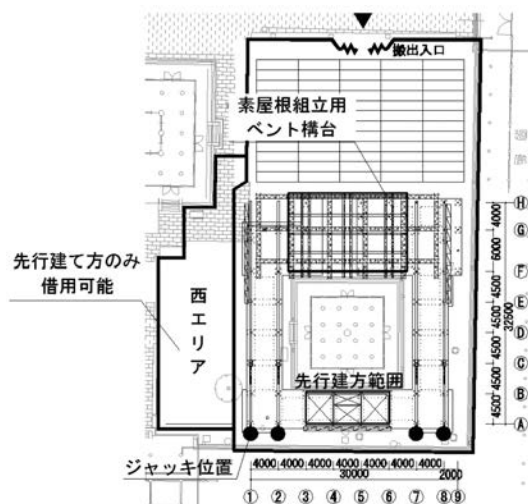


図-6 基本配置図

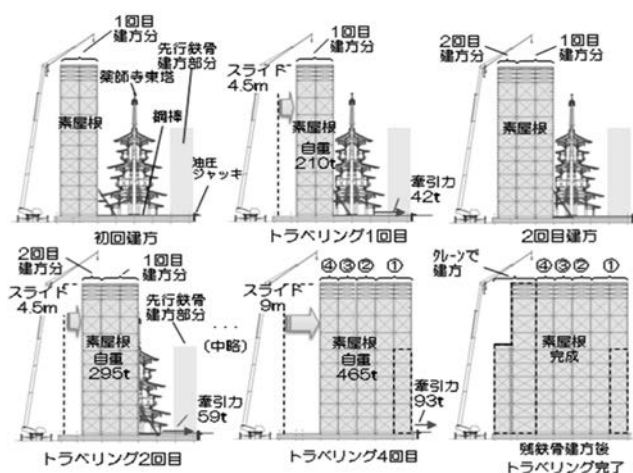


図-7 トラベリングステップ概要

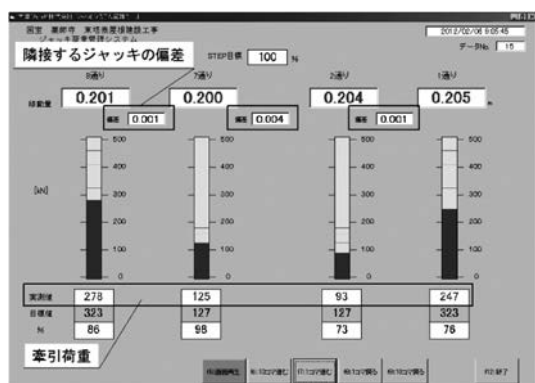


図-8 移動量・牽引荷重管理画面

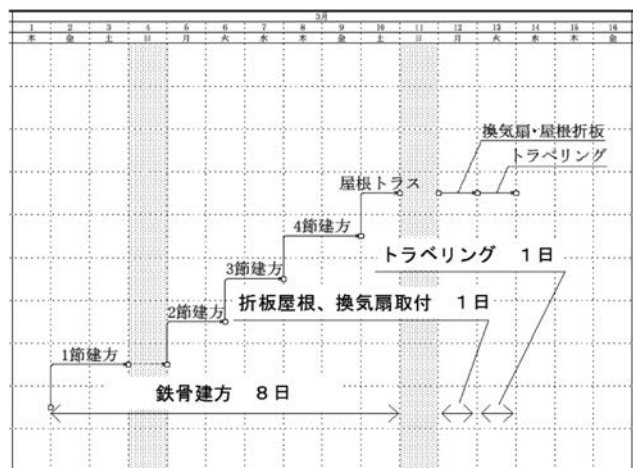


図-9 タクト工程

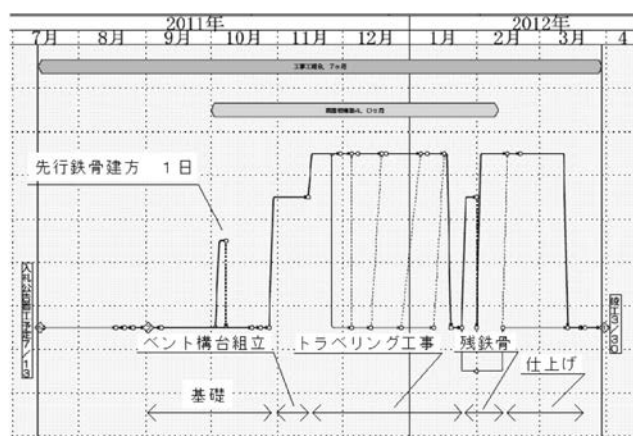


図-10 総合工程

は計画通りの値であった。移動量の偏差に関しては、隣接するジャッキ間では5 mm 程度、20 m 離れた②-⑦間では、20 mm 程度で制御でき、それぞれの目標管理値である10 mm, 100 mmを満足できた(図-8)。準備0.5時間、1スパン4.5 mの移動時間1.5時間、定着1時間を加え、全3時間で1回のトラベリングを完了した。建方8日、屋根折板・換気扇取り付け1日、トラベリング1日の10日タクトで工事を進めることができた(図-9)。全体工程は図-10のとおりであり、基礎工事から素屋根完成まで7か月で安全に工事を終えた(写真-8)。

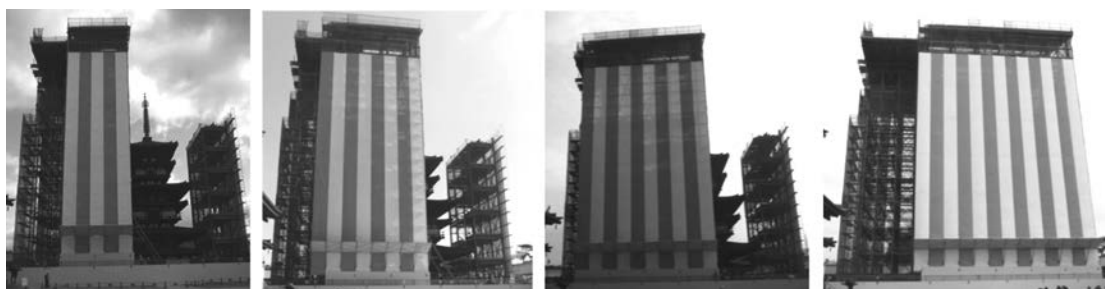


写真-8 トラベリング実施状況

5. おわりに

失敗の許されない厳しい条件の中、塔状の素屋根をトラベリング工法により安全に構築することができた。素屋根建設後、解体修理は2012年6月より始まり、昨年は1300年の歴史上初めて、心柱が基壇から移され、解体修理の大きな節目を迎えた。「凍れる音楽」という愛称で親しまれてきた東塔が、我々の前に姿を再び現すのは今から5年程先になる予定である。

伝統建築は明治の解体修理から100年以上経過し、今後は全国各地で修理工事が予想される。耐震診断技術、補強解析技術、免制振技術に加え、素屋根工事を含めた複合技術により、国宝・重要文化財といった、伝統建築物の保存・再生の力になれるよう研鑽を積む所存である。

JCMIA

【筆者紹介】

小野 孝一（おの こういち）
㈱竹中工務店
西日本機材センター 電気グループ
担当



三幸 謙一（みゆき けんいち）
㈱竹中工務店
西日本機材センター 施工グループ
課長



春川 久郎（はるかわ ひさお）
㈱竹中工務店
大阪・中之島プロジェクト西地区新築工事 作業所
主任



橋梁架設工事の積算 ——平成 27 年度版——

■改訂内容

1. 鋼橋編

- ・ 送出し設備における説明文章、写真の追加
- ・ 少数桁橋の足場工及び防護工の一部改定
- ・ プレキャストPC床版工、場所打ちPC床版工の一部改定

2. PC橋編

- ・ 門構移動装置の新規掲載
- ・ ポストテンション桁製作工他、各工種の適用範囲の明確化
- ・ 横組工 地覆・高欄施工足場の記載
- ・ 緩衝ゴム設置工 新規掲載 ほか

3. 橋梁補修編

- ・ 足場タイプ別詳細作業内容の掲載
- ・ 落橋防止システム工の一部改定

- ・ ストップホール工の新規掲載
- ・ 塗替塗装 素地調整工の改定
- ・ はく離材による塗膜除去作業の注意点の新規掲載

■B5判／本編1,201頁（カラー写真入り）
別冊197頁 セット

■定価

一般：9,720円（本体9,000円）
会員：8,262円（本体7,650円）

※別冊のみの販売はいたしません。

※送料は会員・一般とも

沖縄県以外600円

沖縄県 610円（但し県内に限る）

■発行 平成27年5月21日

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>