

函渠工等周辺の舗装段差部の効果的補修方法に関する検討

室蘭開発建設部 道路設計管理官付 ○堀口 啓吾
室蘭開発建設部 道路設計管理官 小林 悟
寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 丸山 記美雄

本研究は、函渠工等周辺の舗装段差部の走行性改善に繋がる段差補修方法を提示することを目的としている。供用後年数を経て函渠工等周辺の舗装路面に段差や不陸が生じ、走行性が低下した箇所において、段差補修の実施前後に走行性評価指標の計測を行い、段差補修方法の違いによる走行性改善の程度を数値により検証した。その結果、走行性改善に繋がる効果的な段差補修方法に関する知見が得られたので報告する。

キーワード：国際ラフネス指数IRI、すりつけ、乗り心地

1. はじめに

北海道内に広く存在する軟弱地盤の区間に構築された道路盛土区間では、二次圧密に伴う残留沈下や地震等の影響により函渠工等の構造物部と土工部との舗装路面に写真-1に示すような縦断方向の段差が生じる場合があり、道路の縦断線形に影響が及び走行車両の走行性低下につながることもある。

このような函渠工等の構造物部と土工部との舗装に段差が生じて走行性が低下した場合、どのような判断基準に基づいて、どのような方法で補修をすることが適切であるか、報告されている事例は少ない。段差部分を縦断方向に直線的にすりつけて補修する方法が採用されることが多いと考えられるが、この方法で十分な改善効果が得られるか確証が持てない場合もあり、適切な段差の補修方法に関する施工事例や知見を示すことは意義があると考えられる。

そこで、本報においては、函渠工等周辺の舗装段差部の走行性改善に繋がる段差補修方法に関する情報を提示することを目的としている。検討方法としては、供用後十数年経過した高規格幹線道路を対象に、走行性評価指標であるIRI計測を実施して走行性が低下している区間を抽出し、MMS計測で得られた当該区間の路面高さデータに基づいて線形改良案を作成し、オーバーレイ補修施工後にIRIを計測することで走行性改善の程度を数値により検証した。その結果、走行性改善に繋がる効果的な段差補修方法に関する知見が幾つか得られたので報告する。



写真-1 道路盛土区間に発生した函渠工等周辺の段差状況の例

2. 走行性に関する調査

走行性が低下した区間を調査・抽出する目的で、国際ラフネス指数(International Roughness Index, 以下、IRI)の計測を調査対象路線で実施した。

(1) IRIの概要

IRIとは、図-1に示すような4輪の乗用車両の1輪だけを取り出した仮想車両モデル(クォーターカーモデル)を80km/hの速度で路面上を走行させたときの、車両が受ける鉛直方向の運動変位の累積値と走行距離の比(m/km)として定義されている¹⁾。換言すると、図-1中のばね上質量に相当する自動車ボディや車両内部の人間が、1km走行毎に何m程度上下方向に揺られたかを数値化したものとも理解できる。IRIは、路面の走行性や乗り心地を数値化した指標であり、IRIの値と路面状態の関係性については図-2に示すものが示されており²⁾、IRIの数値が上がるほど走行性が悪い路面と評価される。

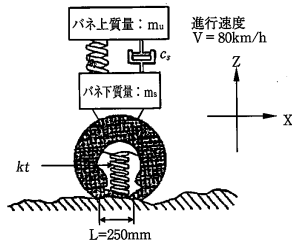


図-1 IRIの概要図、クォーターカーモデル

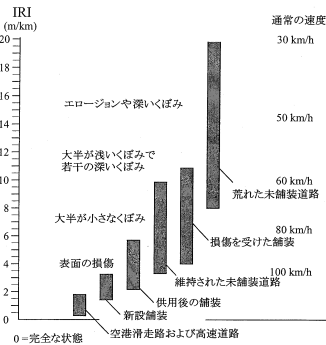


図-2 IRIの数値と評価の関係

(2) IRI測定装置と測定方法

本報で用いたIRI 測定装置は、車両バネ上およびバネ下に設置した2つの加速度計から得られる上下加速度を逆解析することによって、リアルタイムでIRIを算出する装置³⁾である。2個の加速度計とGPS センサ、アンプおよびデータ処理ソフトを内蔵したモバイルパソコンで構成され、本装置は、任意の車両に取り付けて走行しながらの計測が可能であることから、計測が非常に容易で経済的な負担も少ないことが特徴として挙げられる。当該測定装置は、路面から受ける動的応答を加速度の形で計測する、レスポンス方式に分類される測定装置であるが、クラス2相当の高い計測精度を有することを確認している⁴⁾。

調査車両の外観を写真-2に示す。ワンボックスタイプの車両であり、前輪左側のタイヤ部分に加速度計を設置しているため、左側タイヤ走行部分のIRIを計測していることになる。通常の乗用車に加速度計を搭載した非常に簡易な計測機器であるため、迅速に必要なタイミングで計測できることから、工事前後のIRIの変化を効率的に把握するために、当該装置を用いた。



写真-2 IRI簡易計測車両の外観

(3) 高規格幹線道路のIRIの管理目安

舗装点検要領⁵⁾においては、高規格幹線道路などの規格の高い道路は区分AとされIRIが3.5以下、一般国道などは区分BとされIRIが8以下との目安が示されている。本報告でも、これらの目安値を踏まえ、段差補修対象区間の抽出や補修効果の検証を行う。ちなみに、舗装点検要領に示されているIRI値は100~200m程度の評価区間長に対しての値であると理解されているものの、その旨は明示されていない。IRIはその計算式の定義上、同じ場所であっても、その場所を含むIRIの評価区間の長さ次第で値が変わるため、評価区間長が何mのIRIかを意識することは重要である。例として、同一の場所における、評価区間100mの場合のIRI値(以下、 IRI_{100m} と表記する)と、評価区間10mの場合のIRI値(以下、 IRI_{10m} と表記する)を図-3に示す。同一の場所であっても、評価区間長の取り方次第で値が変わり、評価区間長が長いほど、局所的なIRI不良部の値が平均化されてIRI値は小さくなることが理解できる。

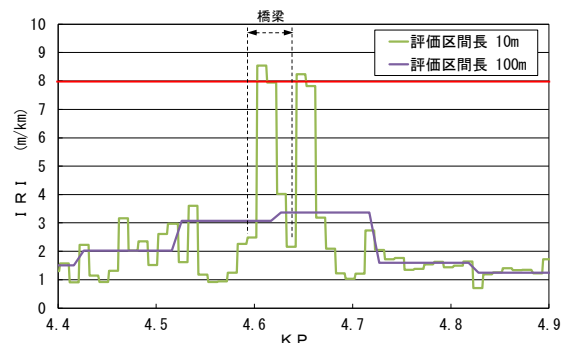


図-3 評価区間100mと10mの場合の同一区間のIRI値

適切な評価区間長の取り方としては、IRIの導入が日本よりも先行している北米地域の事例が参考となる。北米地域では0.1マイル(約160m)の評価区間長でIRIを算出して概略を把握することが基本となっている。加えて、0.01マイル(約16m)の評価区間長で段差などの局所的な異常箇所を抽出するといったように、用途に応じて評価区間長を使い分けている。

本報告では、前述の目安値や北米での区間長設定を参考に、100mの区間長の IRI_{100m} データで大枠の評価を行い、10mの区間長の IRI_{10m} データで函渠工等周辺の段差や盛土の沈下等に伴う局所的な走行性低下箇所を抽出し、補修対象区間の抽出や補修効果の判断をすることとした。なお、200m、20mではなく100mと10mの評価区間長としたのは、ひび割れやわだち掘れなどの一般的な路面性状は100m区間長で評価しており、整合性や作業上の都合が良いと考えたためである。

3. MMSによるレーザー測量調査

走行性が低下した区間の工事前の舗装路面の高さを正確にかつ効率的に得るために、MMSを用いて計測した。MMS測定によって得られた路面高さデータを基に、走行性が低下した区間の補修時の設計路面高さを設定した。

(1) MMSの概要

MMS(Mobile Mapping System)は、写真-3に示すように車両に搭載したセンシング装置（高性能の3Dレーザー計測器）によって、路面や道路周辺の3次元座標データを走行しながら計測可能な機械装置である。写真-3に調査車両の外観を示す。交通規制を要せずに、道路の舗装路面や道路周辺構造物や物体の座標データを高精細で瞬時に計測可能であることから、今後、道路の維持管理に様々な場面で活用されることが期待される。

なお、MMSで測定した路面高さデータから、タイヤ走行軌跡部の縦断方向高さデータを切り出してIRIを算定することも技術的に可能である。しかし、現状においてはMMSの機材数は限られており、工事前後のタイミングにMMS機材を臨機に手配・計測することが難しく、MMSによる路面高さデータからタイヤ走行軌跡部の縦断方向高さデータを解析するには相応の費用を要する。そのため、本報告ではMMSは工事前の路面高さを把握し、縦断線形をどのように修正するかを設計する際の基礎データを得る目的で使用することとした。



写真-3 MMS車両の外観

4. 補修対象区間の抽出

補修対象区間は、工事着手前のIRI調査結果をもとに抽出した。具体的には、 IRI_{100m} の値が3.5以上となっている区間と IRI_{10m} の値が8.0以上となっている区間を抽出して、補修対象区間を選定した。

補修対象として抽出した区間のうち、代表的な2区間を含む500m区間のIRI計測結果を図-4に、MMSによる路面高さ計測結果を図-5に示す。補修対象区間は①工区と②工区の2つあり、①工区は500mの区間の中に函渠工が

2箇所存在している区間、②工区は橋梁部を過ぎたところから500mの区間の中に函渠工が2箇所と橋梁が2箇所存在している区間である。図-4より、補修対象区間内の函渠工の部分で IRI_{100m} で3.5以上、 IRI_{10m} で8以上となっていることが確認できる。 IRI_{10m} の値が段差の影響で高くなっている延長は40~100m程度である。図-5からは、当該区間の函渠工設置位置の路面が高く、前後の土工部分は沈下している状況が確認できる。ちなみに、盛土部は函渠工部分に比べて40cm程度の沈下量となっており、比較的大きな段差が函渠工の前後200m程度の区間にわたっている状況であった。

ちなみに、 IRI_{10m} に着目すると、8以上の値を示すのは進行方向に対して函渠工直上を超えた位置となっていることが特筆される。沈下に伴う走行性悪化を解消するには函渠直上を進行方向に超えた側でのすりつけが要点となることを示唆している可能性が指摘できるが、この点は今後検証を要する課題点ともいえる。

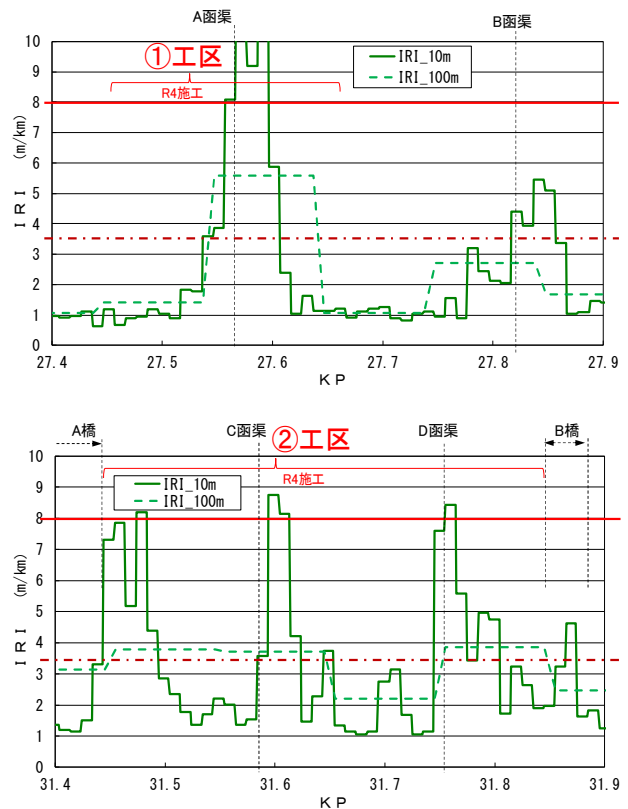


図-4 補修対象として抽出した区間のIRI計測結果

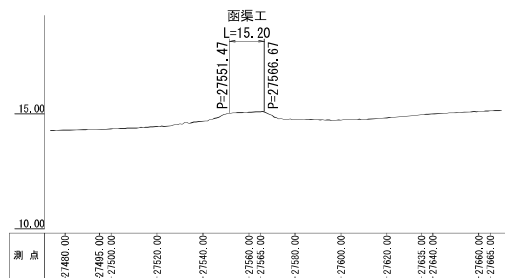


図-5 函渠工設置位置前後の現道の状況 (①工区)

5. 補修工事の例

(1) 補修方法の概要

函渠工等周辺の段差補修の方法として、図-6に示すような3種類の方法をリストアップした。各々の方法の概要を以下に記す。

- 1) 段差を10m程度の延長で直線的にすりつけ補修する方法(図-6の青色点線)。段差量が大きい場合、10m程度のすりつけ延長では足りない可能性があり、適切なすりつけ延長を求めることが難しい。
- 2) 段差を数十mから数100m程度の延長で直線的にすりつけ補修する方法(図-6の緑色破線)。適切なすりつけ延長を求めることが難しい。
- 3) 段差を数十mから数100m程度の延長で縦断曲線を用いて曲線すりつけ補修する方法(図-6の橙色一点破線)。縦断曲線は、道路構造令⁶⁾の規定値に準拠し、曲線半径 $R=3,600\text{m}$ (凸型), $R=1,400\text{m}$ (凹型)以上、曲線長 $L=60\text{m}$ 以上($V=70\text{km/h}$ 相当を算出)とした。同じ延長となる場合、直線的なすりつけよりも縦断曲線によるすりつけの方がオーバーレイに要する混合物量を減らすことができる利点もある。

検討の結果、3番目に示す縦断曲線を入れてすりつけ補修する方法を主に採用し、改善効果を検証することとした。補修対象区間とした2区間(①工区、②工区)において、縦断曲線によるすりつけ線形を設定してオーバーレイで段差補修を実施した。補修工事前の縦断方向の路面高さ、補修工事における設計路面高さを図-7に示す。補修においては函渠工の不陸を縦断曲線を配した曲線ではないでいることがわかる。

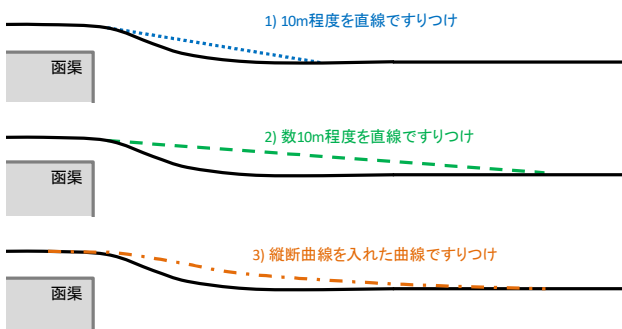


図-6 段差修正方法の種類概念図

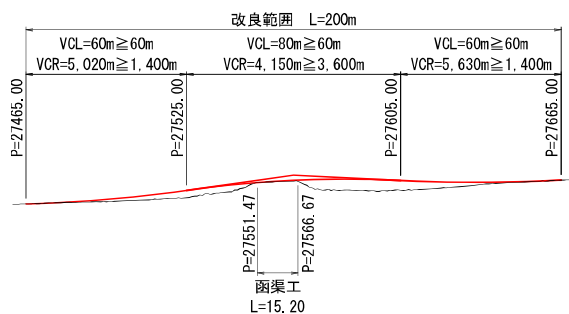


図-7 補修工事前後の路面高さ

(2) 補修後のIRI測定結果

補修工実施前後の①工区におけるIRIの計測結果を図-8に、②工区におけるIRI計測結果を図-9に示す。

①工区については、図-8上に示す $IRI_{100\text{m}}$ の補修前後の値を比較すると、補修前に最大5.5程度であった $IRI_{100\text{m}}$ の値が、補修後には2.4程度に改善している。図-8下に示す $IRI_{10\text{m}}$ の補修前後の値を比較すると、補修前に最大10を超えていた $IRI_{10\text{m}}$ の値が、補修後には最大でも4.0程度に改善している。

②工区については、図-9上に示す $IRI_{100\text{m}}$ の補修前後の値を比較すると、補修前に最大3.9程度であった $IRI_{100\text{m}}$ の値が、補修後には最大で3.0程度、概ね2.0を下回るくらいまで改善している。図-9下に示す $IRI_{10\text{m}}$ の補修前後の値を比較すると、補修前に8~9程度であった $IRI_{10\text{m}}$ の値が、補修後には概ね3.0を下回るくらいまで改善している。

このように、縦断曲線を入れた形でオーバーレイ補修を行ったことによってIRIは改善し、目安とした $IRI_{100\text{m}}$ で3.5以下、 $IRI_{10\text{m}}$ で8以下を満足し、適切な補修方法であることが確認できた。

参考として、段差を10m程度の延長で直線的にすりつけ補修を行った場合の補修前後のIRIの計測結果を図-10に示す。IRI値は一定程度改善しているものの、目安をわずかに下回る程度の改善にとどまっており、縦断線形を入れた方法の方が確実に走行性改善につながると評価できる。

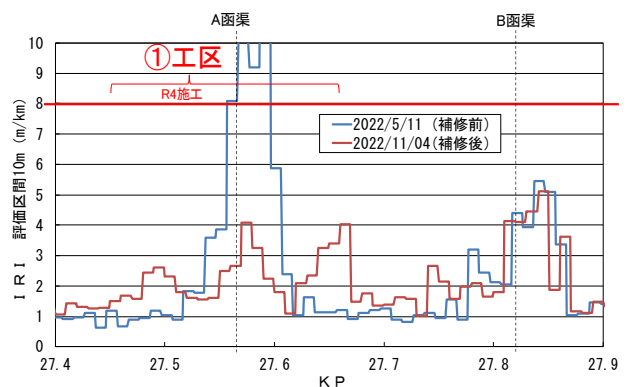
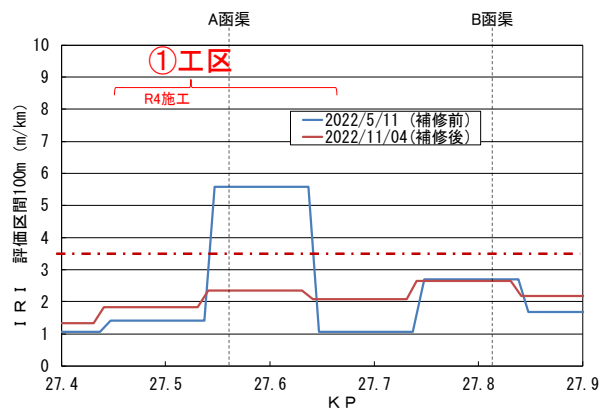


図-8 ①工区における補修前後の値(上: $IRI_{100\text{m}}$ 下: $IRI_{10\text{m}}$)

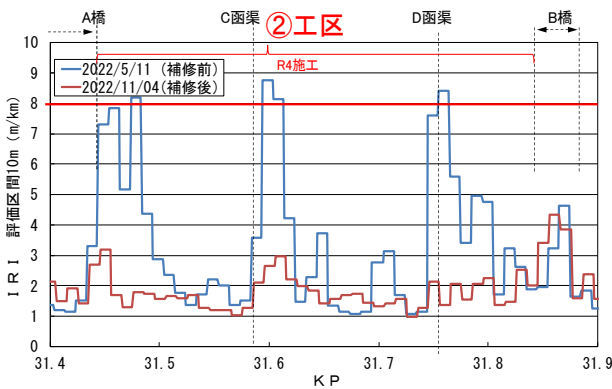
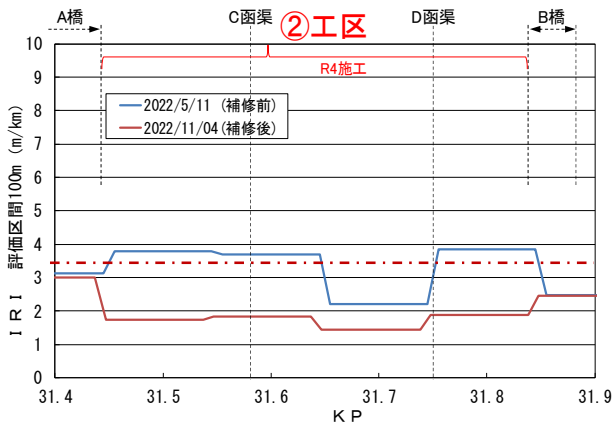


図-9 ②工区における補修前後の値(上: IRI_{100m}下: IRI_{10m})

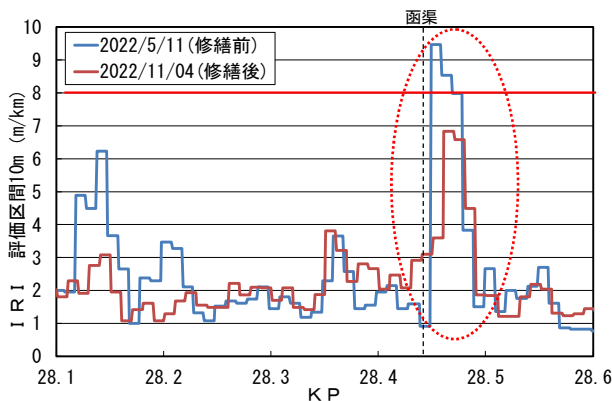
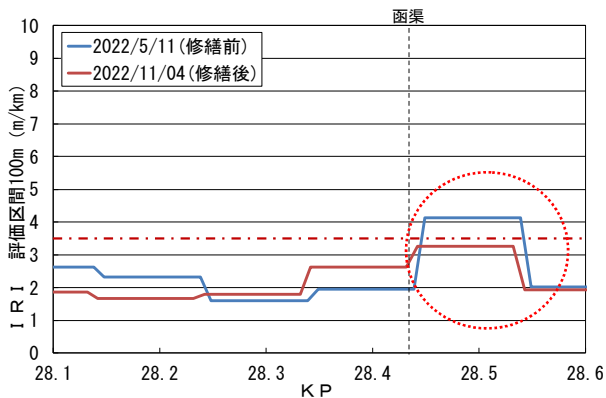


図-10 10m程度で直線的にすりつけた場合の補修前後の値
(上: IRI_{100m}下: IRI_{10m})

(3) 検証した補修方法の経済性

前述した図-6に示した3種類の方法を①工区で適用したと仮定した場合の工事費の比較結果を表-1に示す。コストの安い順に、方法1) < 方法3) < 方法2)となっている。今回実施した方法3)は、方法2)に比べて経済的でありIRIも改善していることから、有効な補修方法であると評価できる。

表-1 3種類の方法を①工区で適用したと仮定した場合の
工事費の比較結果

(単位: 千円)

	方法1)	方法2)	方法3)
工事費(経費込)	5,500	76,480	66,160

※舗装、切削のみ

6. まとめ

得られた結果を以下に示す。

- 1) 函渠工等周辺の段差に伴う走行性低下箇所として、評価区間100mの場合のIRI値(IRI_{100m})の値が3.5以上となっている区間および評価区間10mの場合のIRI値(IRI_{10m})の値が8.0以上となっている区間を抽出して、補修対象区間を選定した。
- 2) 沈下にとまなう段差補修方法として、縦断曲線を入れた縦断線形を設定しオーバーレイする方法を現場施工し、補修工事の前後のIRI値を比較検証した結果、IRI値が目安とするIRI_{100m}は3.5未満、IRI_{10m}は8.0未満に改善し、当該方法が有効であることを確認した。
- 3) 段差を10m程度の延長で直線的にすりつけ補修を行う方法は、経済性は優位であるが、IRI値は一定程度改善しているものの縦断線形を入れた方法の方が確実に走行性改善につながる。

7. おわりに

今後も路面のIRI計測やMMSによる路面高さ計測などを適宜行い、走行性低下箇所の抽出と適切な路面对策を実施していく所存である。本取り組みで得られた知見が、他の現場の参考にもなれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、第一分冊 S032T、2019年4月
- 2) 土木学会舗装工学委員会路面性状小委員会：路面のプ

ロファイリング入門、土木学会舗装工学ライブラリー
1、2003年1月

- 3) 富山和也, 川村彰, 石田樹, 中田孝一: 地方自治体の道路維持管理実態と市街地道路の簡易平坦性モニタリング, 土木学会第66回年次学術講演会概要集, V-408, pp.815-816, 2011.
- 4) 丸山、吉川、熊谷: 加速度計による簡易なIRI 計測手法に関する基礎的検討、土木学会北海道支部論文報告集第69号、2013年1月
- 5) 国土交通省道路局: 舗装点検要領、2016年10月
- 6) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用、2004年2月