

◆ 報 文 ◆

洪水時の流木集積による橋梁近傍の被災と対策に関する 実験的検討

坂野 章*

1. はじめに

物流として大きな役割を有する橋梁は代表的な河川横断構造物であるが、一方で、大きな洪水が来襲した場合には流水を阻害する一面も持ち合わせている。特に洪水時に流木等が橋梁に多量に集積すると、水位のせきあげが増大し橋梁周辺の河床変動等に悪影響を及ぼすことが考えられる。近年、集中豪雨発生の増加や河道内樹木の繁茂及び滯筋部の河床低下等の進行によって、せきあげの影響が顕在化し、特に、阿武隈川¹⁾や貫別川²⁾及び足羽川の例³⁾に代表されるような急流部での被害が顕著となっている⁴⁾(写真-1、2参照)。

橋梁への流木の集積については、足立⁵⁾、米元⁶⁾、縄田⁷⁾等が、橋脚の径間長に対する流木長の比(γ)が重要な要素であると指摘し、 $\gamma \geq 0.4$ の条件で急激に流木の集積率が大きくなる傾向がある事を実験的に確認した。また橋梁への流木の集積に伴う水位せきあげについては、種々の水理条件での実験に基づいた実用的な算定式が提案されている⁸⁾。

一方、橋梁周辺の洪水時の河床変動について、橋梁に流木が集積しない場合には、現在種々の公式や計算によって実用的に算定できる状況にあるものの、流木が集積した場合には、あまり検討されていないのが実状である。

以上のことから、本論文では、洪水時の急流河川に架かる橋梁に流木が集積した場合の水位せきあげに伴う橋梁周辺の河床変動状況とその対策について、水理実験により検討した。

2. 実験方法

実験は、流木が集積した場合の橋脚周辺の洗掘を調査した移動床実験(実験Ⅰ)と橋脚周辺の流れの場の詳細を調査した固定床実験(実験Ⅱ)の

両者について実施した。ともに、急流河川の平均的な条件を想定した上で、これの1/50縮尺相当の模型により実施した。

以下に各実験の実験内容を示す。

●実験Ⅰ(洗掘調査)

実験は、橋梁模型(橋桁及び欄干有り、小判型橋脚：幅3.3cm、長さ33cm、橋桁～河床間：16cm、径間：48cm)を設置した幅2m、長さ18mの水路内に平均粒径 $d_m \approx 0.9\text{mm}$ の混合砂を敷き詰め、これを縦断勾配1/300で平坦に整形して実



写真-1 阿武隈川(平成10年)
橋梁の上下流で、河岸侵食の程度と範囲が異なっている状況が見られる。

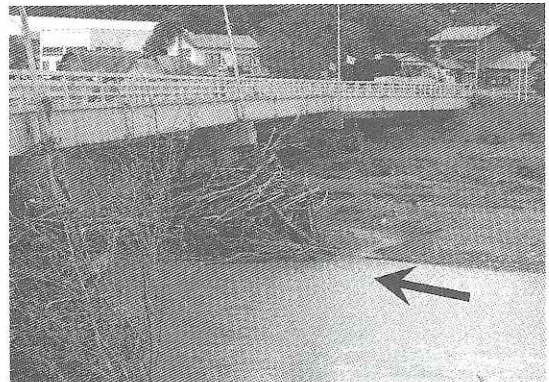


写真-2 貫別川(平成15年)
橋脚に流木が大量に集積し橋梁が下流へ傾いている状況が見られる。

* One Study About Damage and Countermeasures near the Bridge when Driftwoods Get Stuck at Bridge of River During the Flood.

施した。実験ケースを表-1に示す。実験では、水深16cmとなる流量をほぼ平衡となる所要時間として20分間通水し、流木の集積量に応じた水位せきあげと河床変動について比較検討している。

流木模型は、現地の調査事例（昭和33年9月狩野川台風時の調査結果等）を参考に、流木の十分な集積が生じるよう、長さ40cm ($\gamma \approx 0.83$)、径0.5cmと1cmの円柱棒状の木製を用いた。流木比重については、桁下余裕高が小さい方が流木が集積しやすいことから⁸⁾、また従来の研究^{5), 6)}と同様に比重が1より小さな棒状の木製の模型を用いた。なお木製模型は塗装をして用いており、比重は約0.7である。実際の流木は枝葉が付きヨシ等の草本類も多いことから、厳密には流木の形状や可撓性を忠実に再現した流木模型とする必要性があるが、本実験ではこれらの要素を無視しても流木の集積の特徴は概ね把握できると判断している⁸⁾。

流木の集積の条件は、実験I-1では1束40本

を5束（総計200本）、実験I-2では1束80本を5束（総計400本）にして、それぞれ通水約8分後に橋梁上流側断面に一樣に取り付けた。流木模型の1束については、現地の流木の集積形状を考慮して水深方向と流れ方向の長さの比が2:1になるように1本ずつの流木模型を簾状に針金で固定し、通水中に橋梁下流に通過しない条件とした。なお、この流木の集積量は、余笹川などの現地調査（水位痕跡など）や写真等のデータからの推測値⁸⁾を参考に決めた値である。

●実験II（流れの場の詳細調査）

実験は、実験Iと同様の橋梁模型（橋桁及び欄干有り、小判型橋脚：幅3.3cm、長さ33cm、橋桁～河床：22cm及び11cm、径間：48cm）を設置した幅2m、長さ50mの片面ガラス張り可変勾配水路を用い、表-2に示すケースを実施した。実験では、縦断勾配1/300及び1/3000で水深22cm及び11cmとなる流量を通水し、流木の集積量に

表-1 実験ケース一覧（実験I）

実験ケース	水路縦断勾配	水路幅	桁下余裕高	橋脚形状	径間	水深	τ_*	Fr	流木集積本数	r
I-1	1/300	2m	0cm	小判型	48cm	16cm	0.36	0.62	200本	2
I-2									400本	4

τ_* ：無次元掃流力 Fr：フルード数 r：無次元流木集積量

表-2 実験ケース一覧（実験II）

実験ケース	水路縦断勾配	水路幅	桁下余裕高	橋脚形状	径間	水深	Fr	流木集積本数	r
II-1	1/300	2m	0cm	小判型	48cm	22cm	0.68	0	0
II-2								105	1
II-3								209	2
II-4								418	4
II-5								836	8
II-6						11cm	0.64	0	0
II-7								50	1
II-8								99	2
II-9								198	4
II-10								396	8
II-11	1/3,000	2m	0cm	小判型	48cm	22cm	0.22	0	0
II-12								105	1
II-13								209	2
II-14								418	4
II-15								836	8
II-16						11cm	0.2	0	0
II-17								50	1
II-18								99	2
II-19								198	4
II-20								396	8

応じた橋梁近傍の水路中央と側壁沿い（壁面から10cm）の水位と流速（6割水深）の縦断分布をサーボ式水位計と電磁流速計を用いて把握した。

流木の模型は前述の実験Ⅰと同様のものとし（長さ40cm、径1cm）、無次元流木集積量 r （流木1本の投影面積×流木本数／橋梁断面河積）＝0, 2, 4, 8の4条件となる流木量を、流れの安定後に一気に橋梁へ集積するように橋梁直上流から投入した。投入した流木が橋梁下流に流出しないように橋脚と橋脚の中間の鉛直方向に細い棒状の柱をセットし、流木の集積量及び形状が時間的に変動しないように工夫した。

本来、橋梁への流木の集積の形成過程は、「ある流木が偶発的に橋脚等に引っ掛かったことが契機となり、後続の流木が次々と橋梁に集積し流木だるまとなって次第に大きくなる⁷⁾。その後、桁下余裕高が小さくなると一気に流木の集積の度

合いが高まる。その間、一度引っ掛かった流木はずっとそこに止まらず、流木が1本ずつまたは集団となって偶発的に抜け出る場合がある⁵⁾」とされているが、本実験では、流木の集積後の状況調査を目的としており、集積後の集積形態に対する集積形成過程の影響は小さいと考え、前述のような実験方法とした。

3. 検討結果

3.1 実験Ⅰ

図-1は、流木の集積量による水位せきあげの影響を受け、水路横断方向の水位がほぼ一定となる地点（橋梁より85cm上流の水路中央地点）の水位について、その時間変化を示したものである。先に示したように流木は、通水中に瞬時に集積量を設置しており、水位せきあげは、流木設置直後に急激に生じ、その後の100～150秒間で徐々に

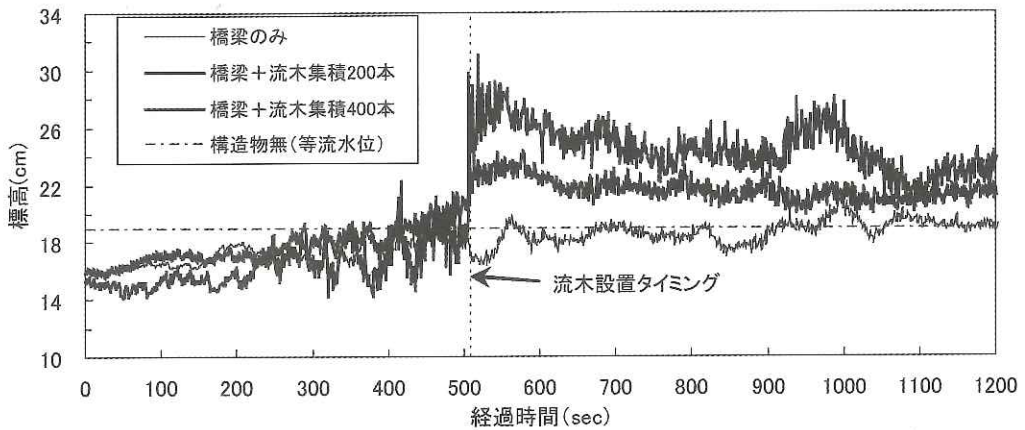


図-1 流木の集積の有無による水位せきあげの時間変動比較（橋梁上流85cm水路中央）

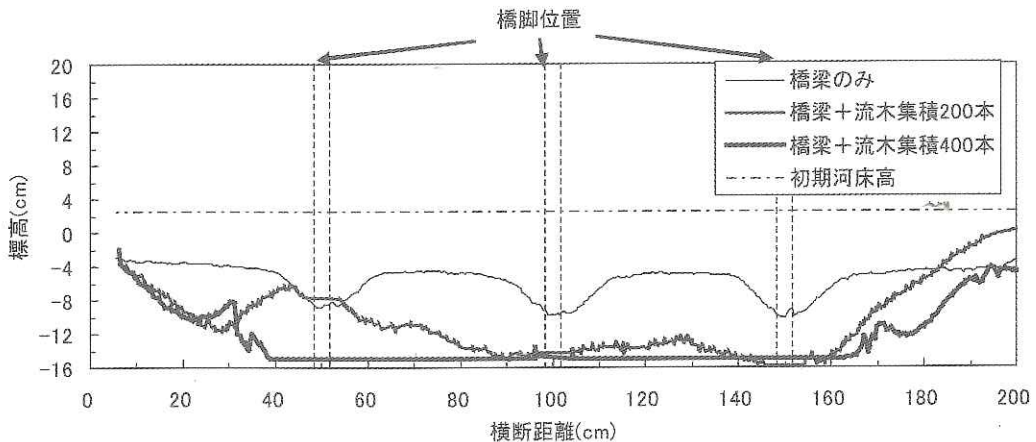


図-2 流木の集積の有無による河床横断形状比較（橋梁0.5cm上流断面、通水後）

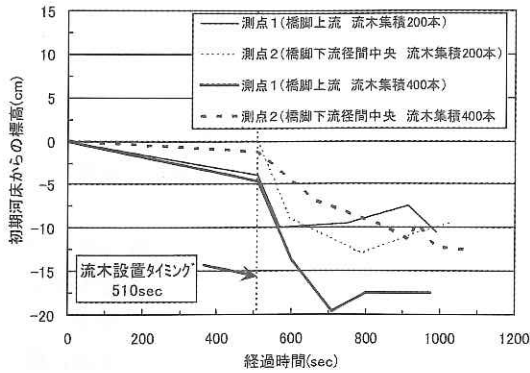


図-3 流木の集積による通水中の洗掘深時間変化

低下し、その後ほぼ平衡状態になる傾向が見られる。また、水位せきあげ量と流木の集積量の間にはほぼ比例関係があることも確認される。

流木の集積による影響は、水位せきあげだけでなく、同時に橋脚周辺の局所的な河床変動にも影響を与える。図-2は、最も河床変動が顕著な橋脚直上流の通水後の横断面形状について流木の集積別に比較したものである。流木の集積しない場合には橋脚周辺のみ局所洗掘に限定されるが、流木の集積量が多い程断面内一様に河床低下が進行する傾向が確認される（流木集積400本のケースでは、水路床版近傍まで洗掘されほとんど平坦になっているが、このような状況の発生は図示した断面に限定されており実験結果に大きな影響はないと判断した）。

一般に、流水中の橋脚上流側周辺では水面付近からの橋脚壁に沿った下降流によって底質材料が舞い上がり、その後その底質材料は水平方向の流れによって橋脚壁沿いに流れて掃流力の低下した場所に堆積する。これらの流れと底質材料のバランスによって、橋脚周辺の上流部では掘り鉢状の洗掘孔や橋脚直下流での馬の背状の堆積が形成され、その最大洗掘深は、橋脚幅の1.5～2.0倍と言われている⁹⁾。図-3は、この箇所を「測点1」として通水中の河床高時間変化を比較したものである。橋脚上流で流木模型の設置前に河床低下しているのは、橋脚によって生じる下降流によって洗掘が進んだものである。また、同図には橋脚下流の径間中央位置を「測点2」としてデータを付加し、この2つの箇所のデータを洗掘部分の代表値とした。これより、洗掘深は場所によって異なるが（測点2よりも測点1で顕著）、最深部の測点1

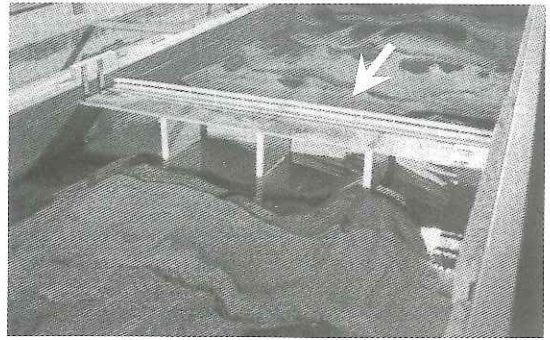


写真-5 通水後河床状況（実験I-1）

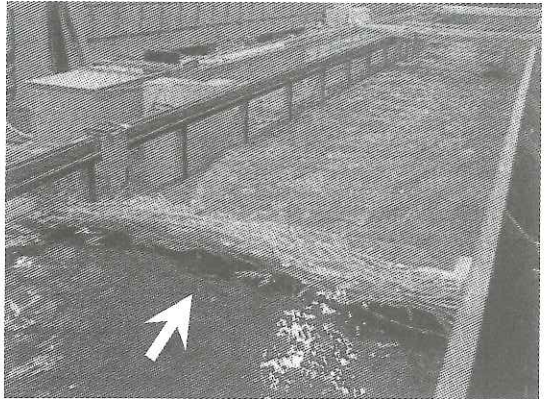


写真-6 通水中の流況（実験II-5；r=8）

においてある程度時間が経過した後に2～3cmの河床の上昇と低下が見られる傾向は場所に係らずほぼ一定である。通水中は、写真-5に示されるような河床波（砂堆）が形成されることから、「2～3cm幅で河床の上昇と低下」の現象はこの河床波が移動流下した結果と解釈できる。これより、流木集積後100～150秒以降の時間帯ではほぼ動的平衡河床状態にあると考えられる。また、これらの河床の時間変動の周期は前述の水位とほぼ対応していることも確認される。

以上のように、橋梁上流での水位せきあげは集積流木の設置直後に一時的に最大になるが、その後橋脚周辺の河床洗掘の進行によって、急激に低減する。このことは、橋脚周辺の洗掘を許容することによって水位せきあげ量が低下されることを意味しており、橋脚の根入れや強度が充分であれば橋脚周辺の根固工の無い方が治水上は有利であることを示唆するものと考えられる。

3.2 実験II

実験結果例として、水路縦断勾配 $I = 1/300$ 、水深 $H = 22\text{cm}$ の条件での流木の集積量の違いに

よる橋脚下流の水面形を比較して図-4、5に、 $r = 8$ での通水中の流況を写真-6に示す。図-4は水路側壁沿い（壁面から10cm）、図-5は水路中央部水面形であり、それぞれ流木の集積なし

($r = 0$)と流木の集積有り ($r = 1, 4$)の3ケースについて比較している。なお図のデータはサーボ式水位計で測定した平均値である(10Hzで30秒収録)。図-4、5より、水路中央部では、流木の集積量にあまり関係なく同様の水面形を有していることがわかる。一方、水路側壁沿いでは、水面の高い部分(山)と低い部分(谷)の発生する場所が集積状況によりかなり異なっており、振幅と波長が橋梁から下流に離れるに伴って減少する傾向がある。また流木の集積量が大きい程振幅は大きくなるが、波長は短くなる傾向がある。

河岸の被災箇所では高速流の発生が卓越するものと考えて、水位測定と同一箇所でも電磁流速計(流れ方向、鉛直方向の2次元成分測定)による6割水深位置での流速を測定した(サンプリングタイム及び収録時間は水位測定と同一)。図-6は、流木の集積量の違いによる流向として鉛直方向の角度について比較したものであり、図-4の水面形と対比して以下のような傾向が確認できる。

①流木の集積がない場合には($r = 0$)、水面形とほぼ同位相であり(水面の高い部分は上向きの流れ、水面の低い部分は下向きの流れが卓越)、振幅は流木の集積有りの場合に比較して小さい。

②一方 $r = 1$ の場合には、水面形とほぼ逆位相であり、その振幅は大きく全体に上向きの流れが卓越する。

③ $r = 4$ の場合には、水面形との関係は不明確で全体として下向きの流れが卓越するが、橋梁に近い箇所における振幅は他のケースより大きい。

一方、水路縦断勾配の緩い $I = 1/3000$ の実験 II-11 ~ II-20 における橋梁下流の水面については、 $I = 1/300$ のケースと大きく異なり、水路の場所及び流木の集積の有無の関係なく、図-5と同様のほぼ一直線の同一形状を示すことが確認されている。ま

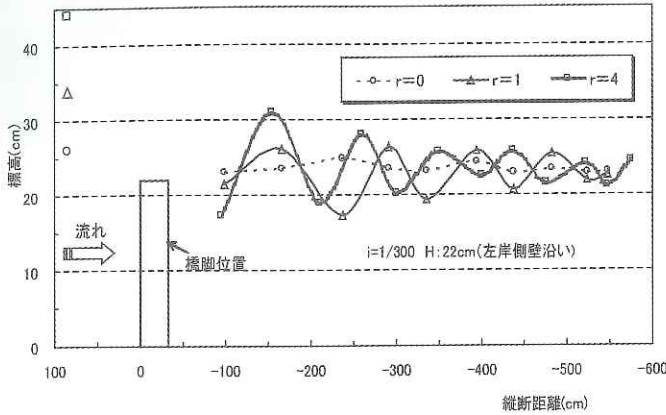


図-4 側壁沿いの水面形比較(流木集積量 r 別)

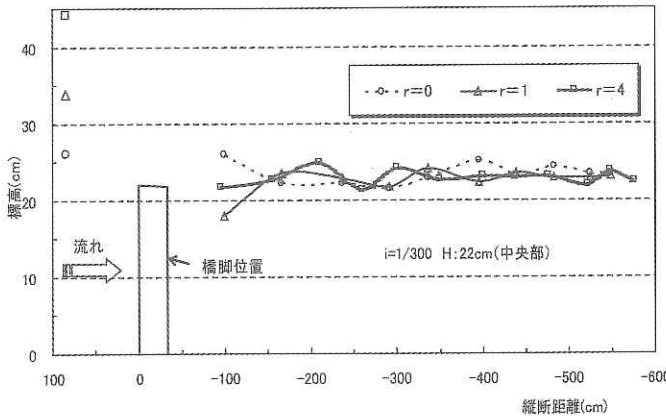


図-5 水路中央の水面形比較(流木集積量 r 別)

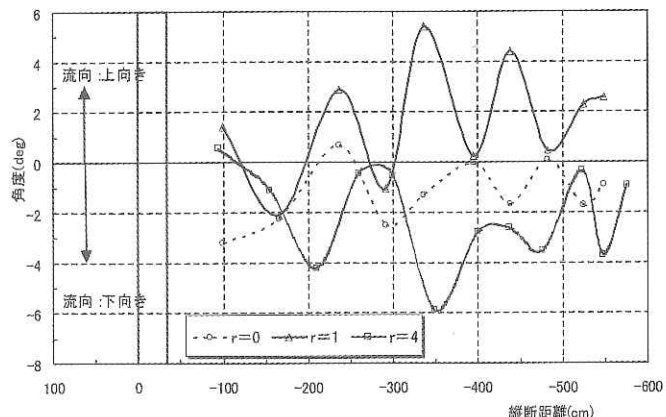


図-6 側壁沿いの流向の比較(流木集積量 r 別)

た、鉛直方向の流向については $I = 1/300$ のケースと同様の波長を示すが、振幅については流木の集積の有無に係わらず小さく (約 $1 \sim 2$ 度)、全体的に下向きの流れが卓越する。

以上のことから、急流河川の橋梁下流の河岸沿いでは、流木集積に伴って水面形の振幅が大きくなることが予想される。特に橋梁直下流部は、水深が小さく上向きの流れ卓越するため、河床や護岸ブロック等にかかる揚力が大きくなることが予想される。したがって、現地河道では河岸防衛の点からの重要箇所になると考えられる。河川管理施設等構造令¹⁰⁾では、「橋の設置の伴い必要となる低水護岸は、基準径間長の $1/2$ 以上を橋の上流及び下流に設ける…」とされているが、特に急流河川における橋の下流側の護岸長はこの基準より長くすることが望ましいと考えられる。

4. まとめ

橋梁への流木の集積量とそれに伴う水位せきあげと河床変動に関して実験的に検討し、流木の集積時の橋脚周辺の河床変動と水位せきあげの関係および橋梁下流河岸での侵食危険範囲について確認した。

本検討は、限られた条件での水理実験結果であるため、現地への定量的応用は完全ではないが、定性的には十分に参考になり得ると考えられる。現実的には、現地の河道特性等を踏まえた上で、次のような点に留意した対応策を検討することが望ましいと考えられる。

- ①根固工を施さないで橋脚周辺の河床洗掘を許容することにより、水位せきあげが低減し、橋梁直上流での堤防越水の危険度の低減に役立つと考えられる。ただし、前提条件として、橋脚や周辺護岸の根入れ等を十分考慮しなければならない。
- ②橋梁設置に伴って必要となる護岸の範囲としては、橋梁上流よりも下流の方が重要であり、特に急流河川においては流木が集積したことを考慮すると基準径間長程度以上が望ましいと考えられる。

5. おわりに

近年、河川の環境機能が強調され、河川生態機能及び景観機能等の重要な要素として河川区域お

よび近傍に生育する樹木が見直されつつある。しかしこれらの樹木は流木化すると、橋梁等に集積する治水上否定的な側面も持ち合わせている。本検討は、橋梁という河川構造物の側面からのハード的な対策に傾注しているが、本来は、樹木の有する河川環境機能も配慮しつつ流木化の機構やその災害軽減対策との摺り合わせが重要で、今後の検討課題と考えられる。

参考文献

- 1) 河川研究室、都市河川研究室、基礎研究室：平成10年8月末豪雨による福島県・栃木県豪雨災害現地調査報告書、土木研究所資料第3793号、2001.3.
- 2) 二村貴幸、坂野 章、小川和彦：平成15年台風10号による北海道河川災害現地調査速報、土木技術資料45-11、2003.11.
- 3) 16年風水害検討チーム：平成16年風水害の特徴と今後の課題、国土技術政策総合研究所資料No.246、2005.3.
- 4) 望月達也、松尾和巳：橋梁の流木災害に見られる特徴、土木技術資料39-5研究コラム、1997.5.
- 5) 足立昭平、大同淳之：流木に関する実験的研究、京大防災研究所年報第1号、1957.
- 6) 米元卓介：洪水時に流木が橋梁及び堤防に及ぼす影響とその対策に関する研究、早稲田大学理工学部研究所報告第17輯、1961.
- 7) 縄田昭美：河川工学短期入門講座 (10)、建設省河川局治水課、1969.
- 8) 坂野 章：橋梁への流木集積と水位せきあげに関する水理的考察、国土技術政策総合研究所資料No.78、2003.3.
- 9) 宇多高明、高橋 晃、伊藤克雄：治水上の観点から見た橋脚問題に関する検討、土木研究所資料第3225号、1993.11.
- 10) 改定 解説・河川管理施設等構造令、pp.319-322、2000.1.20.

坂野 章*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所水工研究グループ河川・ダム水理チーム総括主任研究員
Akira SAKANO