

第1章 流木の橋梁への集積に関する過去の研究のレビュー

橋梁に関する過去の主な研究成果について要点を整理すると以下のようである。

[足立、大同：京大防災研究所年報第1号、1957年]

- ・昭和28年の北九州及び南近畿の水害、昭和32年の北九州諫早水害の例から分析すると、流木は、流下の途中各種の河川構造物を破損し災害を激化する。橋梁に対しては、単に衝撃力によって橋体を破損するだけでなく、橋脚にせき止められた流木がうず高く堆積して、著しく流水の疎通を阻害し、橋梁上流側の水位を堰き上げる。これによって、堤防の溢流破堤、洗掘による橋梁の破壊及び流失につながる。したがって、流木が予測される河川においては、これを考慮することが重要である。
- ・水路実験（0.5m×0.2m×15m、縦断勾配1/1000、流木は比重1.0より小さいマッチ棒を橋脚の正面20cm上流から投入）において、堆積流量とせきあげ水位の関係等を把握し以下について確認した。
 - 1) 500回の試行実験の結果から、流木流下状況は次の4種類に分類される。①橋脚に非接触 ②接触するが橋脚側面を滑って流下 ③橋脚の先端に正面衝突してはねかえって流下 ④流木の中央部が橋脚の先端で支持され、流木の左右にかかる流水圧が釣り合う状態。
 - 2) また、一本ずつ流木投入の条件で橋でせき止められる確率は、2本目、3本目と何本かが既にせき止められていると、急激に増大し、数本が堆積すると互いに組合わさって流失し難くなる。せき止め率は流速が大きくなると低くなるが、流木の流下方向にはあまり関係しない。
 - 3) 連続的に流木を投入すると、橋脚先端を三角形底辺の中央点とする三角形に堆積するが、堆積量には限界が有る。限界を超えると一団となって流下する。堆積三角形の底辺長は流木長の約4倍である。
 - 4) 流木密度が小さく支間長が大きいほど閉塞しにくい傾向がある。

[米元：早稲田大学工学部研究所報告第17輯、1961年]

- ・昭和33年の狩野川台風での被災橋梁80についてその原因を分類した（桁下高低い・径間狭い43、流木転石多い61、根入れ不足11、取付護岸弱い9、橋台出張り過5、橋脚径細・向き悪い3）。また橋梁に集積した流木の最大長は25m～4m、最大径は1.2m～0.2mである。
- ・次のような模型実験により流木の集積状況を把握した。
 - 1) 縮尺1/50直線水路での流木投入方法→800本/橋として72秒間流木を投入するが、1本及び10本ずつ水路全体に投入した場合と100本、200本、400本、800本ずつの集団で投入した場合の2通りとした。後者の集団投入は、流木を揃えたケースと乱積のケースの2条件とした。
 - 2) 縮尺1/100の河道模型での流木投入方法→檜の流木模型3000本/橋を173秒、マッチ棒の流木模型13100本/橋を173秒（時間あたりの材積は檜とマッチ棒で同一）とし、50本～約2000本の集団で投入した。
 - 3) 流木集積機構については、流木1本～2本がつかい棒になると後続の流木が急速に集積し始める。やがてこの集積集団が発達すると安定性を失って、ピア先端を中心に回転流下したり、

隣の集団と連携する事がある。水面近くに累積するものと既成集団の下をくぐって通り抜けるものがあり、後者の場合は流木長と水深の関係が重要となる。

- 4) 流木長径間長比 (γ) と堰止率の関係：桁下余裕高有の場合より無の方が集積率が大きい。特に流木を揃えて投下した場合に顕著である。ある値以上（縮尺 1/50直線水路実験の桁下余裕無の場合 $\gamma \approx 0.4$ 、余裕有の場合 $\gamma \approx 0.9$ ）で急激に堰止率上昇、縮尺 1/100の河道模型実験でも急激に堰止率が上昇する特徴は同様（ただし $\gamma \approx 0.2$ と小さく、水路実験より集積しやすくなる）。このように流木長径間長比 (γ) が流木集積の指標として重要であり、同じ γ でも水深、流速などが違うことで集積率も異なる。
- 5) 流木量と集積率の関係：流木 1 本ずつバラバラに投入した場合には集積率は小さく、100本、200本と集団で投入すると堰止率増加堰止量と水位上昇量の関係が明確になる（3次元模型では、ある程度以上堰き止められると水が堤防を越流するため水位上昇量には限界がある）。

[縄田照美：河川工学短期入門講座（10）、建設省河川局治水課、1969年]

- ・河川技術から見た流木を考慮した橋梁の計画に関して以下のような見解を示した。
 - 1) 昭和32年諫早水害と昭和33年狩野川台風出水による被災によって、橋梁スパンは20m以上とする必要性のあることが確認された。実際にはスパンが20m以上でも、橋脚に流木等が引っ掛かり「流木ダルマ」の形成で橋脚の幅そのものが10m以上となり、実質的なスパンが20m以下となる場合があり注意を要する。
 - 2) 流木の集積機構としては、先着の流木の下へ下へと潜り込む形で引っ掛かり、流木自体の浮力と流れのアップリフトによってうず高く盛り上がっていきと考えられる。

[松尾和巳：土木技術資料トピックス、建設省土木研究所河川部河川研究室、1998年]

- ・昭和63年から平成7年までに流木の影響で被災した橋梁についてその原因を分析するとともに、橋脚に引っ掛かる流木に関する水理実験の一部を紹介した。以下にその概要を示す。
 - 1) 被災事例の総数は27事例で、径間20m未満のものが78%を占める。その橋梁は全て河床勾配 1/400以上の急流河川であり、そのほとんどは、橋桁まで河川水位が上昇した溢水を伴うものである。
 - 2) 橋桁の流失が過半数を占め、それらは橋台および橋脚の倒壊を伴っている。橋台倒壊のメカニズムは、橋と流木によって堰き上げられた水が溢水し、それによって橋台周辺の河岸が侵食されたことが主原因と考えられる。
 - 3) 径間長が十分であっても被災した事例があることより、径間長が長くても計画高水位を超えて橋桁に達する場合には、橋桁や流木の集積によって水位が上昇し被害を大きくすることがある。
 - 4) 水理実験によると、比重が1.0に近い流木は、橋脚前面での下降流の影響を受けやすく、橋脚前面の河床に押しつけられて下流に流下されにくい傾向を示すことが分かった。流木の比重(生木)は、一般に針葉樹で約0.8、広葉樹で約1.0であることから、流木の樹種が集積（橋脚周囲に引っ掛かる）に影響する一要因であると考えられる。

[砂防・地すべり技術センター：流木対策に関する講習会テキスト、1990年]

- ・砂防区域の流木対策として、その取組、指針（案）と具体的な計画及び設計の事例について整理した。次にその要点を示す。
 - 1) 平成2年6月末の九州地方豪雨では、特に国道57号に架かる橋梁を流木が閉塞したことが原因で被害が増大したものと考えられる。
 - 2) 土砂と一体となって流れる流木のメカニズムは複雑で完全には解明されていない。
 - 3) 流木発生抑止のためには、溪岸を保護する護岸工や床固め等を主体とする対策が効果的である。
 - 4) 計画流木量は、地形、地質、林相、過去の記録、現地調査等により総合的に決めることが必要である。
 - 5) 流木対策のための調査として、流域現況調査、発生原因調査、発生量、発生場所、流木長及び直径等の調査、流出流木調査等を行って、流木による被害を推定する。
 - 6) 流木対策施設は、土石流発生流下域、土石流堆積域、掃流域に分けて設計することが合理的である。

[水山ほか：流木の運動・堆積機構と対策工に関する研究、土木研究所所報、1991年3月]

- ・流木による被災実態から、発生する流木の大きさ、形態、本数等を調査し、発生流木の本数及び量を推定する手法を検討した。次にその要点を示す。
 - 1) 流木による被災形態は6種類で、もっとも支配的なのは流木が橋梁やカルバート、流路等に詰まることにより土石流や洪水が河道から溢れて周辺や下流の人家・施設等に被害を与える場合である。
 - 2) 溪流において土石流とともに発生する流木は、山腹崩壊、溪岸崩壊、溪岸侵食に伴って発生するものが多い（河床勾配 $\geq 8^\circ$ 以上で多い）。
 - 3) 昭和62年山形県豪雨により発生した4溪流の調査によると（直径10cm以上、長さ2m以上の流木を対象）、流木の最大長（5%）は長16~19m、平均長は7~9m、最大径は35~60cm、平均径は20~25cmであった。
 - 4) 昭和63年広島災害の流木発生の顕著な8溪流を調査した結果、流木長 \div 立木長 $\approx 0.3\sim 0.5$ であった。
 - 5) 昭和57年長崎災害の3溪流、昭和62年山形災害の4溪流、昭和63年広島災害の20溪流に基づき、最大流木発生本数 $\approx 5,000 \times$ 流域面積（ km^2 ）であることを確認した。
- ・水理模型実験により流木の運動・堆積機構について検討し、以下の結果を得た。
 - 1) 水路勾配 5° 付近で流木が引っ掛かりやすい。
 - 2) 狭窄部幅 w と流木長 l の比 w/l が0.3以下（ $\gamma \approx 3.3$ 以上）で100%堆積、1.5以上（流木長径間長比 $\gamma \approx 0.67$ 以下）で集積0%となる。
 - 3) 流木集積分布は流木の投入速度にあまり係わらない。
 - 4) 実際の扇状地に存在する鉄道盛土及び生け垣等の構造物や樹木等によって比較的多量の流木が集積する。
 - 5) 流木の堆積形態は、清水と土石流の条件で異なる。清水では扇頂部から下流へ、土石流では扇状地中部から上流へとなる。

- ・流木捕捉機能を把握するための実験を行い、以下の結果を得た。
 - 1) 流木止めスクリーンの場合－流木捕捉率に関して、次元解析から得られたパラメータ $\theta \cdot Fr$ ($\theta = h W^2 / d l^2$; h は水深、 W はスクリーンの横方向間隔、 d は流木直径、 l は流木長) との関係を実験により求め、高い相関性 (逆相関) が得られた。
 - 2) 砂防ダムの場合－流木長が長い程捕捉率が高く、平均的な流木長よりも最大 (付近の) 流木長が重要である。流木最大長が水通し幅の1.3倍を超えると捕捉率が急増する。水褥池においても同様の関係である。
 - 3) 土石流や洪水対策の一環として、流木対策の必要性を強調する必要があることを確認した。

これらの研究成果より、共通の認識および懸案となる課題をまとめると次のようである。

●現地被災事例より

- ・昭和33年の狩野川台風での被災においては、桁下高及び径間が小さく、流木や転石が多いことが主な原因である。被災軽減のためには、流木との関係を考慮する必要がある。
- ・近年 (S63～H7) の橋梁被災事例に調査結果→径間20m以下のもの約8割占める。それらの河川は急勾配 (1/400) で、桁まで水位上昇し溢水を伴う。
- ・H2九州地方豪雨による被災は、国道57号の橋への流木集積が主な原因。
- ・橋台倒壊の機構は、橋と流木で堰き上げられた水が溢水し、橋台周辺河岸が侵食されたことが原因。
- ・比重の重い流木 (針葉樹で1.0) の方が、橋脚前面の下降流の影響を受け河床に押しつけられるため、「流木ダルマ」が形成され易くなると考えられる。流木ダルマが形成されると実質的なスパンが狭くなるため、流木が集積する必然性が高まる。
- ・砂防域における流木による被災実態で最も支配的なのは、橋梁やカルバートに流木が詰まることである。
- ・溪流における調査によると、流木は山腹崩壊、溪岸の崩壊及び侵食に伴うものが多く、流木の最大値 (5%) は、長さ16～19m、径20～25cm、平均値は、長さ7～9m、径は20～25cmである (流木長は立木長の約1/3である)。また流木の最大発生本数は5,000×流域面積 (km²) でほぼ示される。
- ・流木を考慮することの重要性 (流木比重や長さ、橋梁の径間等) を認識した。

●流木の集積機構

- ・流木の橋梁への集積は、時間的に線形的ではない (流木がドラステックに集積開始及び流下する)。
- ・流木諸元と橋梁諸元 (または流木止めスクリーンの諸元) の関係によって、流木集積の程度がほぼ決まる。支配的な項目は、流木長と径間長の比、桁下余裕高の有無、水深・流速・流木流下条件 (単独or集団) である。
- ・流木集積による水位上昇量については限界があるようである。→ある程度以上流木で堰き止められると「越流」し、流木集積が進行する場合には水面を覆うようになる。
- ・流木が集積し始まることは偶発性が高いことが実験結果から分かった。しかし現地状況を想定すると、スパンが広い場合でも橋脚にゴミや小さな流木が引っ掛かって「流木ダルマ」が形成されるこ

とにより実質的なスパンが狭くなるため、流木が集積し始める可能性が高まると考えられる。

●懸案となる課題

過去の調査研究によって、橋梁の径間等を定める際には流木の量、長さ、径等、流木の諸元を考慮することが最も重要であり、設計に際しての定量的な手法も一部提案された。しかし、現地河道で個別に応用するには、種々の河道特性の条件下でも適用できるような広範囲な検討がさらに必要と考えられ、流木条件（長さ、太さ、比重、流木本数等）や橋梁条件（径間、桁下余裕高等）、さらに水理条件（流速、水深等）等の組み合わせによる種々の条件下での大縮尺の水理模型実験は重要な一検討手法と考えられる。