<報 文>

既往の降雨強度から崖くずれの発生危険
を予想する一方法について

——とくに実効雨量計の考案に関連して——

**A proposal for anticipation of a great likelihood of landslide
based on record of observed rainfall intensities**

——especially, with respect to Discussion on Effective Rain Gauge——

細 野 義 純*
Yoshizumi HOSONO**Synopsis**

A method of predicting, in an indirect manner, a big likelihood of landslide resulting from a prolonged rainfall or a cloudburst, on the basis of analysis of the information on the rainfall of present and during a plurality of past days for declaring timely warning for safety-evacuation of the local inhabitants is indicated, together with the conception and description of setup of unique Effective Rain Gauge ingeniously worked out by the author, with a special concern given to the facilitation of the declaration of warning.

1. まえがき

崖くずれの定義については、従来、明確に提示されたものは少ないように思われる。古くは、脇水鉄五郎(1912)¹⁾の区別があるが、それによると“直立もしくは急斜せる岩壁の上部の墜落するもの”と定義している。

その後、一般に崖くずれに対する取り扱い、その発生原因について、いわゆる素因的なものと誘因的なものと考えた場合、誘因的なものが支配的な役割をもつという意味あいから、山くずれの類似現象として取り扱っているように思われる。

筆者が、この報告でいうところの崖くずれとは、最近、都市周辺の開発に伴って急増している。山地、丘陵、台地などの端末部分の急傾斜地の崩壊現象に伴う災害を、全体としてとらえようとするものであって、とくに、崖くずれについての厳密な定義や分類をしようとする意思はない。したがって、個々の崩壊現象の原因については、かなり人為に関連する要素の加わったものも含まれるが、極端な施工不良による宅地造成地などのくずれまでも含めるというものではない。

崖くずれの類似現象である山くずれ(山地崩壊)の原因については、脇水¹⁾は近因と遠因に明確に区別する必要を説き、とくに霖雨後の大雨の場合がもっとも多く、また地震の際にも発作の動機が与えられると述べ、別に遠因として素質的真因なるものを例示している。

中村慶三郎(1934)²⁾も山崩れの直接原因として、およそ9項目を著わしている。これは、降雨(雪解水も含

む)、地震、人工的原因などに集約することができる。

小出 博(1955)³⁾は、豪雨型山崩れ、地震型山崩れ、地下水型山崩れ、などに区分して、具体例を掲げている。

以上のように、山くずれ(山地崩壊)の原因(誘因)としては、第一に豪雨をあげることができ、ほかに、人為、地震などが原因となる場合もあるということができる。

筆者は本報告において、豪雨によってもたらされる崖くずれの発生危険を、降雨情報の分析を基礎に察知し、これをもとに避難を行なうという方法を提案するとともに、そのための機器の一つとして考案した実効雨量計についての考え方を紹介しようとするものである。

2. 崖くずれの発生危険を知るための直接的な方法と間接的な方法

崖くずれ等の発生危険を知るためには、大別して二つの方法があるように思われる。その一は、地質や斜面の状況によって、あらかじめ危険が認識され、または社会経済的にみた土地利用の状態から、格別な警戒が必要である場合など、傾斜地のある部分について、伸縮計などに代表されるような計測器類を設置し、特定の地点間、または部分における運動の異常を知ることによって、直接にその部分における崖くずれ等の発生危険を予知しようとするものであり、その二は、特定の崖に限定されることなく、ある広域にわたる地域について、主として降雨状況から崖くずれ等の発生危険を認識しようとするものであって、筆者は、前者を崖くずれの発生危険を知る

* 自治省消防庁消防研究所

ための直接的な方法、後者を間接的な方法と呼ぶことにする。

直接的な方法によれば、実際の計測にもとづくものであるから、精度も高く、根拠も明白であるが、部分的なものであって、この結果を計測器の設置されていない他の部分について、同様な根拠として適用することは適当でない。

間接的な方法は、過去の例をもとに定められた、いわば確率論的な見解にもとづくものであって、精度ははるかに劣るものであるが、広域にわたり、ある一定の水準を定め得て危険情報を伝達できるなどの強みもある。

崖くずれ等災害発生の際の警報の発し方については、多くの意見があるであろう。しかし、現段階では、はなはだ心もとないことながら、決定的なものはないと言わなければならない。このことは、いわゆる素因の解釈と評価についても、また、誘因の評価についても言い得ることであって、崖くずれの発生を正確に予知することが至難な技術であることを示すものと考えられる。

二、三の例を示すと、若干の都市では地域防災計画の一環として、斜面の土質や傾斜角などをもとに、A. B. C. ……等の級分けにより、崖くずれ等危険地の格付けを行なっているが、その都市が実際に豪雨、あるいは地震を受けた場合にみられた結果は、遺憾ながら不満足なものであったと記憶している。

集中豪雨の発生の際には、気象観測部署の過少が問題とされ、各部落ごとに簡易雨量計の設置が提言されたりするが、現実には機器の維持について、たとえ簡易型ではあっても、若干の経験と日常の手入れを必要とし、このため、いくつかの地方自治体で実施した結果のなかには失敗であったという例も伝えられている。

また、降雨強度から危険を決定する方法をとるにしても国または国に準ずる中央の機関が規準を定め、これを一律に適用させる方法は、工作物などを別とすれば、地域の特性によって反応の異なる崖くずれの性質（素因的な要素）からみて、良い結果は期待できないであろう。

したがって、最終的には、そこに居住する住民の自主的な判断に負うところが大きいと言わねばならないであろう。この場合、地域の住民の判断に役立たせるための事前の情報の伝達が大きな意義をもつものと筆者は考える。

被災地における実際の調査によれば、被災者の多くに共通的なことは、1)ほとんどの被災者が崩壊を予想していないこと、2)避難勧告は無かったか、またはあったとしても豪雨で避難できる状態ではない、ということである。この結果からみると、崖くずれの発生危険を伝えるための、一般人を対象とした情報としては、すでに手遅れの段階ではなかったかと考えざるを得ない。

現在の降雨強度は、そこに居住する住民が、もっとも

よく察知できる筈である。したがって、たとえば“これ以上の降雨が続くと危険である”といったような事前の情報の伝達が徹底されれば、住民の関心を外へ向けさせるという意味で重要であると考えられる。この場合、天気予報にみられるような広域的なものよりも、市町村程度の単位で住民組織に伝達される情報の方がより効果的であると思う。

また、崖くずれ等災害の発生危険地の指定、または格付け等も、それなりに必要なことではあるが、これが技術的に確実な内容のものであるならば、逆に避難をする場合に必要な安全地域の選定と、そこに達するまでの通路の選択などを周知させることが、むしろ先決ではないかと筆者は考えている。

3. 崖くずれの発生時刻と降雨との関係

図-1は1971年9月に発生した台風25号による崖くずれに関するもので、千葉県小見川町についての調査である。図-2は1967年7月に発生した梅雨前線による崖くずれに関するもので、神戸市（全区）についての調査である。これらは、崖くずれ件数、降水量、を時間別に示し、別に積算降水量を曲線をもって表わしたものである。同様な関係図は、1958年9月の狩野川台風における横浜市の例について、大滝俊夫（1963）⁹⁾によって示されたものがある（図-3）。

この種の関係図は、発生時刻の明確に判明した崖くずれ件数を得るのに困難を伴うので、よほど条件がよくなないと作成することができない。図-1の場合には、被災直後のアンケート調査から、時間の確実に記載されたもののみを選んで集計したもので、全調査個数の65%程度が判明したに過ぎない。図-2は、主として消防局への通報の受信時刻をもとに、若干の補正を行なって集計したもので、当然のことながら、通報されたものは、全崖くずれ件数のごく一部に過ぎない。

図-1 千葉県小見川町における崖くずれと降水の関係(細野原図)

図-2 神戸市における降水量と崖くずれの発生時刻との関係(細野原図)

図-3 降雨と崩くずれの発生の一例—横浜—(大滝原図)⁴⁾

しかしながら、これらの関係図から、およその傾向を知ることができる。

まず、崖くずれ件数のピークは、毎時降水量の大きい部分からわずかに遅れて出現する。したがって、毎時降水量の大きさ、ないしは降雨強度を鍵にして、崖くずれの多発時刻を予知できないかという希望もある。大滝 (1963)⁴⁾ によれば、崖くずれ件数は1時間前の雨量と、4ないし6時間前の雨量の影響を大きくうけるという。しかしながら、これは相関係数の算術平均であって、個々の崖くずれが降雨にどのように影響を受けたかは確定できないし、また、防災上からは崖くずれ件数の量的関係も必要ではあるが、むしろ最初の崖くずれの発生時刻以前に警報を伝達する仕組みが要請されるのである。

つぎに、長時間前の降水も崖くずれの発

生に関係しているのではないかという見方である。図-1の小見川町の場合にも、前日に相当の降雨強度を示す部分がみられるし(このときには崖くずれは発生していない)、図-2の場合にも、これに似た関係があるように思われる。また、図-2において、雨が止んだ後も半日以上にわたって崖くずれが継続している事実は特筆に値する。

なお、図-1～図-3にみられる崖くずれ件数の現われ方のパターンの相違は、降雨条件のほか、地質の特性が反映されているのではないかと筆者は考えている。

図-4は、1972年7月に各地に被害をもたらした梅雨前線豪雨について、災害発生にいたる時雨量の分布を示す図である。これらの多くは、時間別の崖くずれ発生件数が不明なもので多いので、崩壊の多発した時刻、または、もっとも大きな崩壊の発生した時刻を、同一線の上に並ぶように配置した。参考までに、前記小見川町の例も同様に掲げてみた。

また、表-1は、図-4に掲げた例のうち、災害発生日をさかのぼる各地の日雨量の判明したものを表わしたもので、崩壊の発生をさかのぼる過去数日以前にも、相当量の降雨(日雨量にして、70～124mm)があることが確認された。

このことから、現在をさかのぼる過去の降雨(先行降雨)についても、警報を発する場合の要素とする必要があるように考える。

過去相当期間の降雨が、現在の崖くずれに関することは、降雨の地中への浸透と、地中からの流出の関係を考慮すれば当然のことであり、このことは最初に紹介したように、脇水鉄五郎¹⁾によって“霖雨後の大雨”と記された意味の本質と一致するものと考ええる。

4. 崖くずれ警報のための機器の構成について

以上、降雨情報をもとにした間接的な方法によって、崖くずれの発生危険を察知するために必要な背景を記述してきたが、これらを若干の要素に集約して、崖くずれ

表-1 災害発生日をさかのぼる各地の日雨量

銚子(千葉)		天坪(高知)		小原(愛知)		三森山(岐阜)		中川(神奈川)	
年月日	日雨量	年月日	日雨量	年月日	日雨量	年月日	日雨量	年月日	日雨量
1971—	mm	1972—	mm	1972—	mm	1972—	mm	1972—	mm
8.27	—	6.24	—	7.1	1	7.1	—	7.1	—
8.28	—	6.25	—	7.2	—	7.2	—	7.2	—
8.29	—	6.26	70	7.3	6	7.3	—	7.3	—
8.30	75	6.27	34	7.4	2	7.4	16	7.4	2
8.31	124	6.28	4	7.5	0	7.5	2	7.5	18
9.1	0	6.29	23	7.6	3	7.6	9	7.6	81
9.2	1	6.30	—	7.7	—	7.7	7	7.7	—
9.3	17	7.1	—	7.8	2	7.8	1	7.8	—
9.4	0	7.2	4	7.9	38	7.9	38	7.9	5
9.5	—	7.3	5	7.10	77	7.10	78	7.10	47
9.6	101	7.4	742	7.11	18	7.11	24	7.11	474
9.7	269	7.5	101	7.12	284	7.12	160	7.12	122

図-4 災害発生にいたる降雨量の分布を示す図(細野原図)

警報を発するための機器を構成しようとするものである。

改めて記すまでもなく、崖くずれの発生は地形、地質、土質、植生などの素因と、降雨、地震などの誘因がからみあい、さらに人為も大きく関係するものであるから、きわめて複雑な発生機構である。したがって、見方によっては、これらを若干の要素に集約すること自体、無理を伴うのである。

しかしながら、過去の事例を参考にして、現在の状態を認識し、警報を伝達しようとすることは、あながち無益なことではないように思われる。

筆者が考案した崖くずれ警報機⁵⁾とは、つぎの3つの要素から構成されている。1) 30分間積算雨量、2) 6時間積算雨量、3) 先行降雨指数にもとづく実効雨量。

以下、それぞれの構成要素について概要を記述する。

4-1. 30分間積算雨量

現在をさかのぼる30分間の単純な積算雨量で、これは、降雨の微細な構造による被害の発生を想定したものである。また、激しい雨も弱い雨も継続時間の統計的分布には大きな差がなく、しかも、15～29分間続く雨の出現度数が最も多いという事実⁶⁾に対応している。

一方、これを防災上の立場から考えてみると、1時間程度の積算雨量では、計測に要する時間の上から、手遅れになるという危惧もあり、逆に10分間といった短時間では対応が難しいであろうという判断から、30分間程度が実用上最も望ましいものと考えた。

ただし、最初にも記述したように、この種の、あまりにも直前の雨量強度にもとづいた警報の仕方は、避難誘導といった技術的な立場からすれば、十分な効果は期待できないものと考えられるし、この種の異状は、現にそこに居住している人達が、もっとも敏感に感じなければならぬはずだからである。

4-2. 6時間積算雨量

現在をさかのぼる6時間の単純な積算雨量で、これは、台風や、いわゆる集中豪雨等、雨域が継続的に供給される場合の降雨に対応させて考えることができる。

4-3. 先行降雨指数にもとづく実効雨量

現在をさかのぼる過去7日間程度の各日雨量に、その土地に固有の各日の低減係数を乗じて、その累計から、現在の地中に保留されているであろう崖くずれに実効的な雨量を計算して記憶し、この値に当日の雨量を加算して、崖くずれ等の発生危険の接近を察知しようとするも

のである。

これらの機器の構成をブロックダイアグラムによって
図示したものが図-5である⁷⁾。

この警報機は、転倒ます型雨量計の受感部より発する
パルス信号を電気信号に変換して、各構成回路によって
固有な一定時間記憶させ、その一定時間が経過すると、
順次、前の記憶を消失させるか、または係数によって補
正するようにした警報機付強度計であって、警報を発す
るための各設定値、および係数は、いずれも任意に可変
である。また、前記の3つの要素は、それぞれに独立
し、たがいに補完しあう性格をもたせてある。たとえ
ば、30分積算雨量で、警報を発する段階にいたる直前
で、時刻の経過によって前の記憶が消滅されたとして
も、その値は6時間積算雨量では、ひきつづき記憶され
続ける結果、6時間積算雨量によって警報を発する可能
性を大きくするような機能を保たせてある。同様なこと
は、6時間積算雨量と先行降雨指数にもとづく実効雨量

の場合にも、当然、言えることである。

5. 警報設定値の定め方について

警報設定値は、その定め方も含めて、地域の実情に応
じて固有に定めることを基本とする。ここでいう地域と
は、せいぜい市町村程度の範囲であって、都道府県とい
った大きな範囲で一律に決定するという方法では、よい
結果は望めない。また、市町村とはいっても、それが特
別に広域である場合や、地形、地質などが極端に異なる
場合には、また格別の配慮を要することは言うまでもな
い。これは、崖くずれの発生機構が、素因と誘因とが
からみあった地域の特性を反映するものだからである。

積算雨量の警報の設定値の定め方は、確率の場合におい
て客観性を保持させるためには、所望確率年値を定めた
うえで、特性係数法による確率降雨強度式⁷⁾を採用する
のが最適であろう。この方法については、すでに関連す
る事からも含めた成書⁸⁾がだされているので記述は省略
する。

図-5 実効雨量計ブロックダイアグラム

図-6 過去30年間の10分間雨量の順位

また、確率年値によらずとも、現実、過去 30 年間程度の降雨の観測値が得られるならば、過去の降雨の実績から、警報を発すべき数値を定めることも妥当な方法であると思う。この場合、気象庁が10年ごとに発行している日本気候表のうち、極値および順位表⁹⁾などが利用できる。

図-6は、上記の極値および順位表を用いて、若干の観測所について、過去30年間に観測された10分間雨量を順位にしたがって配列させたものである。極値に近いいくつかの値が異常に大きく現れるが、ある順位以下になると、その差も小さくなり、なめらかな曲線状を呈するようになる。この曲線の変曲点をもって警報を発すべき段階と考えれば実用的である。この変曲点にあたる順位は各地によって相異なるが、1972年版の順位表 (1970年までの記録) から過去30年以内のものをとれば、おおむね第5位ないしは第10位程度のものとなるであろう。

各気象台測候所での雨量観測値は、10分間、1時間、および日雨量が、上記の順位表にもみられるように、公式なものとして発表されているが、この警報機に設定値として必要な30分、6時間といった値は、公式には発表されていない。

そこで、各測候所の観測値を直接に調査するか、または、前記の特性係数法による確率降雨強度式から計算することが必要とされるが、一方、地点雨量の極値的な値とは、そこで発生しうる雨量の物理的な上限を意味する

ものと考えて、10分間雨量、1時間雨量、日雨量について、時間と雨量の関係を両対数紙上にとり、それらを曲線で結んで中間値を読みとる方法をとったとしても、実用的には、たいした問題もなく目的を果たすことができるものと考ええる。

先行降雨指数にもとづく実効雨量の回路構成は、図-5に示したように、現在をさかのぼる各日の雨量に、日によって異なる別々の低減係数を設定することもできるし、任意に可変の操作もできる。また、現在をさかのぼる各日の低減係数を、つねに一定の値に設定しておくこともできる。前者の場合には、たとえば、火山灰土のような土湿不足の影響が大きい土地地帯にあつては、無降雨状態が続いた場合、その土湿不足を満たすまでは、降雨は吸収されて下層への浸透を生じない。最大約 50mm (火山灰土の場合) に及ぶという¹⁰⁾この初期吸収については考慮する必要があり、このような場合には季節別、無降雨日数別に、そのつど任意に低減係数を可変する手法を考えると、いっそう現実的なものとなる。

後者の場合、すなわち、各日の低減係数をつねに一定としたならば、水文気象の分野でいう API (Antecedent Precipitation Index の略) と同義となる*。

すなわち、

$$API = P_0 + KP_1 + K^2P_2 + \dots + K^n P_n + \dots \quad (1)$$

ここに、 P_i : 当日雨量、 K : 減少係数 (本報告でいう低減係数に相当する)、 n : さかのぼる日数、 P_n : n 日前の日雨量

ただし、図-5のように、回路構成は経済的にも有限であるから、この警報機では n は 7 日程度までしかとり得ない。

低減係数の決定と、その方法は、各地の土壌の特質によって固有に定められなければならないが、実験的な方法と、既往崖くずれ発生時の雨量データの解析から算出する方法がある。筆者は関東ローマについて、武蔵野台地および多摩丘陵の一部で、実験的な数種の手法¹¹⁾によって、測定を行なったが、その結果は API による場合、6~9月の崖くずれ発生期で、減少係数 $K=0.86 \sim 0.93$ を得ている (詳細未発表)。

また、実効雨量としての警報設定値は、経験的に、図-6のような方法で作図した日雨量の変曲点における雨量

* API は既往降水指数とよばれている^{11, 12)}。また、岩井・石黒¹³⁾は、先行降雨指数を与えている。混乱をさけるために、ここで本報告で用いた用語を釈明しておく。(1) 式の例のように、低減係数を一定とした方式にもとづくものを API とよぶ。そして、任意に低減係数を変えることのできる方式をも含めた概念として先行降雨指数を用いる。また、API のように低減係数 K が一定の値をとり続ける場合に限って、 K を減少係数と呼ぶことにする。

ついでながら、本報告でいうところの実効雨量とは、崖くずれの発生に影響を及ぼすであろう、土の保水状態の増減に関係する、現在および過去の降雨量の有効部分の総和をいうものであって、いわゆる実効湿度をあらわす式の度に関するものを雨量におきかえたというような¹²⁾、厳密な定義式にもとづいたものではない。

の値に1.5を乗じた程度の値が、もっとも適当なもののように思われる。

実例として、呉市消防局の調査¹⁵⁾によれば、APIの手法で、過去11年間、21例の崖くずれに関する情報を解析した結果、 $K=0.9$ が現実とよく一致し、避難指示を行なう時点は実効雨量が200mmに達したときと定めている。これを前記方法によってあてはめてみると、極値および順位表から呉市の例では日雨量第10位を変曲点とすれば

136.2 mm であり、これを1.5倍すれば204 mmを得て、おおむね現実とよく一致した適当な値であると言えるのである。

以上のような方法は、雨量計さえあれば、必ずしも機器の用意まで必要としないものであろう。しかし、豪雨による災害発生の危険が接近しつつあるときには、関係機関には計算の手間は無いものと考えられるから、これらを警報機付計器(実効雨量計)によって、自動的に演算させるのが現実的であると考ええる。

最近発生した崖くずれの場合を例として、もし、この種の計器が備えられていたならば、どうであったかという点を、試算してみると表-2のようになる。このことから、これら4つの例では、繁藤の場合を除き、いずれも実効雨量警報が最初に発信しており、しかも、崖くずれ発生までは、かなりの時間的余裕がある。ついで、6時間積算雨量警報が発信され、最後に30分積算雨量警報が発信されるという。災害警報としては理想的な順序をふんでいるように思えるのである。とくに、崖くずれ発生時には、いずれも3系統中、実効雨量警報、6時間積算雨量警報を含む2系統以上が警報を発し続けているという事態は特質に値する。

もちろん、筆者はこれで完全なものとは思っていないし、実態はむしろ不正確な要因の方が多いのである。しかし、避難のための警報という手段を考える場合には、必ずしも学理的な完全さを期してはいられない面があると思うのである。その意味で、現在は不完全であるが、今後は改良すべき点は組み入れたいと願うので、大方の御叱正をいただければ幸いである。

参 考 文 献

- 1) 脇水鉄五郎 (1912) : 山地の崩壊に就て, 地学雑

表-2 災害事例地域において実効雨量計を設置した場合に予想される警報の発信時刻

事 例 地 域	小見川(千葉)	神 戸	繁 藤(高知)	小 原(愛知)
崩壊多発時刻または、 主となった崩壊時刻	1971.9.8 02:00~03:00	1969.7.9 22:00~24:00	1972.7.5 (Ⅰ) 05:45 (Ⅲ) 10:50	1972.7.13 02:00
30分積算雨量警報が 指示される時刻 (警報設定値)	9/7 22:00~23:00 9/8 01:00~01:30 (23mm)	7/9 16:30 7/9 21:00 (25mm)	7/4 14:00~15:00 7/4 20:00~21:00 7/5 05:00~06:00 (35mm)	7/12 23:00~24:00 (24mm)
6時間積算雨量警報が 指示される時刻 発信時刻—解除時刻 (警報設定値)	9/7 23:30 ~9/8 09:00 (88mm)	7/9 16:10 ~7/10 04:00 (75mm)	7/4 15:30 ~7/5 03:00 7/5 05:30 ~7/5 14:00 (111mm)	7/12 23:40 ~7/13 07:30 (73mm)
実効雨量警報が 指示される時刻 $K=0.9$ とした場合 (警報設定値)	9/7 21:30 (199.9mm)	7/9 16:10 (175.8mm)	7/4 20:30 (291.3mm)	7/12 22:30 (154.1mm)

誌, Vol. 24, No. 282, pp. 379~390.

- 2) 中村慶三郎(1934): 山崩, 岩波書店
- 3) 小出 博(1955): 山崩れ, 古今書院
- 4) 大滝俊夫(1963): 崖崩れの水文学的研究(第1報), 電力と気象, Vol. 14, No. 1, pp. 1~14.
- 5) 日本国特許庁(1971): 実用新案公報, 昭46-26399号, 実効雨量計(崖くずれ警報機), 昭和44年(1969)3月26日出願
- 6) 榎根 勇(1973): 水の循環, 共立出版, 水文学講座 3, pp. 74~80.
- 7) 石黒政儀(1961): 特性係数法による確率降雨強度式の算定法について, 土木学会論文集, No. 74, pp. 19~26.
- 8) 岩井重久, 石黒政儀(1970): 応用水文統計学, 森北出版
- 9) 気象庁(1972): 日本気候表, その3, おもな気象要素についての極値と順位, pp. 198~pp. 359.
- 10) 金子 良(1956): 水文学的循環における土壌の効果, 農業技術研究所報告, F第9号, p. 63~191.
- 11) 川畑幸夫(1961): 水文気象学, 地人書館, pp. 246
- 12) 大滝俊夫(1964): 横浜市における崖崩れと雨の関係, 水利科学, No. 37, pp. 95~102.
- 13) 前掲 8), pp. 327.
- 14) 細野義純(1971): ローム層中の水の浸透について, 日本地理学会1971年度秋季学術大会予稿集,
- 15) 沖林仁郎(1972): 呉市のがけくずれについて, 第20回全国消防技術者会議資料, pp. 37~38, 自治省消防庁消防研究所

(原稿受理 昭和48年11月12日)