

## (173) ヘリコプターを用いた上空からの即時震災情報調査法

建設省土木研究所 正員 川島 一彦  
" 正員 杉田 秀樹  
建設省郡山国道工事事務所○正員 加納 尚史

### 1. はじめに

大規模地震により広域的に被害が発生し、被害の拡大も予想されるような状況下では、被災状況を速やかに把握し、適切な対策を行うことが重要となる。既往の地震における震災情報の収集及び伝達の実態を調査すると、道路の被災や電話回線の輻輳により情報の収集に長時間を要したり、震後の混乱によって情報の内容や精度が不十分であった場合も多く、広域的な震災情報を正確かつ迅速に収集するための新しい手法の一つとして、ヘリコプターを用いた調査手法の開発が望まれている。

本文は、模擬地震被害を対象とした撮影実験等に基づいて、ヘリコプターによる震災情報収集能力を解析するとともに、即時・広域的な震災情報の収集を震後の時期区分に応じて必要とされるヘリコプターの飛行方法及びヘリコプターの飛行速度の設定方法を検討した結果を示すものである。

### 2. ヘリコプターによる震災情報収集能力

道路及び河川施設に模擬的な地震被害を設け、これを建設省防災ヘリコプター「あおぞら号」から撮影することにより、ヘリコプターからの調査により震災状況の把握がどの程度可能であるかを検討した。橋梁に設けた模擬地震被害を可視ビデオカメラ（昼間）で撮影した画像を示すと写真1の通りである。また、堤防に設けたクラックを熱赤外線カメラ（夜間）で撮影した画像を示すと写真2の通りである。

本検討により、ヘリコプターによる震災情報収集能力について、以下の点が明らかにされた。

- ①被災状況に対して大局的な判断を下す上で極めて有効である。特に、被災の特徴や被災施設の分布等のマクロな情報については、現状の技術でも十分に収集が可能である。
- ②個々の施設の被害に係わるミクロな情報（橋脚・盛土・路面のクラック、鉄筋の破断等）を収集するためには、ヘリコプターの飛行方法及びビデオ撮影方法に工夫が必要である。
- ③熱赤外線カメラは構造物表面の温度差を検知できるため、肉眼では全く見えない状況でも白黒テレビのように観察でき、落橋や橋脚の大被害、堤体の崩壊等の比較的大規模な被害については現状の技術でも十分に把握できる。

### 3. 即時・広域震災情報の収集を目指したヘリコプターの飛行方法

震後に必要とされる情報は、震後の時間経過に応じた復旧作業の水準によって大きく異なる。「道路震災対策便覧（震災復旧編）、（社）日本道路協会」では、震後の時間経過を3段階に区分し、各時期区分における復旧の基本方針を表1のように示している。ヘリコプターは、地上調査班に比べて遙かに高速な飛行を利用して短時間に広範囲の調査が行えるため、震災復旧の第1段階において、また、震災復旧の第2段階で早急に応急復旧に取り組む必要があるのに係わらず地上調査班が踏み込めない地域等の調査に対して、特に有効と考えられる。

震災復旧の第1段階及び第2段階におけるヘリコプターの飛行方法は、空中停止機能、微速前進機能、サークリング（回転半径の小さい旋回）機能等一般の航空機にはない特殊な飛行性能を十分に発揮できるように、以下に示す3種類の飛行方法を使いわけるのがよいと考えられる（図1参照）。

- ①緊急飛行…災害対策の基本方針を決定するために最初に行う視察飛行で、最短経路で被災地区に直行するとともに被災地区の中心と外周を飛行して、概ね30分で必要な情報収集を終える。被災状況は可視ビデオカメラ及び熱赤外線カメラで収録し、リアルタイムで地上本部に伝送する。
- ②一定飛行…被災状況を網羅的に調査するための飛行で、表2に示す緊急調査項目の把握に終点をおく。飛行経路、飛行速度等はあらかじめ定めておいたフォーマットに従い、緊急飛行による調査結果に基づいて地上本部が決定する。飛行中は、機体直下の状況をビデオカメラで連続的に収録する。河川堤防及び都市内道路を対象とした一定飛行の例を示すと図2の通りである。
- ③調査飛行…緊急飛行及び一定飛行の後に、応急復旧に必要な詳細な情報を得るために行う飛行

である。このため、調査対象とする施設に直行した後、地上本部からの指示を受けつつ、旋回飛行や空中停止飛行を組み合わせて様々な角度から調査を行う。

#### 4. ヘリコプターの飛行速度の設定方法

ヘリコプターから撮影されたビデオ画像は、リアルタイムで地上本部に伝送され、被災状況の判読に用いられる。ヘリコプターの飛行速度は、短時間に多くの情報を収集するためにできるだけ高速であるのが望ましいが、飛行速度があまり速すぎるとビデオ画面上で画像が流れてしまい、被災状況を正しく判読することが困難になる。このため、画像の「流れ」を生じさせない範囲で最も高速なヘリコプターの飛行速度（以下、流れ発生速度と呼ぶ）をあらかじめ把握しておくことが重要である。

ビデオカメラによるVTR画像は、図3に示すように、2つの走査フィールドから構成されている。1フィールドを走査するのに要する時間は1/60秒であり、したがってVTRの1画面を作成するには1/30を要する。画像の「流れ」は、VTRの1画面が走査される速度を、ビデオカメラの撮像管上における撮影対象物の移動速度が上回った場合に生じることから、流れ発生速度は次式で評価できることになる。

$$V_L = 2.5 \times a \cdot H / f \quad (1)$$

ここに、 $a$ ：撮像管の幅(通常のビデオカメラでは6.6mm)、 $f$ ：ビデオカメラの焦点距離(mm)、 $H$ ：ヘリコプターの飛行高度(m)である。

流れ発生速度を実証的に検証するために、同心円を描いたパネルと鉄筋コンクリート橋脚の地震被害を示したパネルを試験車の側面に固定した上で試験車を走行させ、これを地上に設置したビデオカメラで撮影したVTR画像を示すと写真3の通りである。2種類のパネルのうち、特に「流れ」の発生が識別しやすい同心円のパネルに着目すると、試験車の速度が式(1)の流れ発生速度 $V_L$ を上回った場合には「流れ」が生じ、反対に $V_L$ 以下の場合には「流れ」が生じていない。したがって、流れ発生速度 $V_L$ は式(1)により適切に評価できることがわかる。

ビデオ画像に「流れ」が生じても、「流れ」の大きさが調査対象物の大きさに比較して十分小さければ被害の識別は可能である(写真4参照)。撮影実験により得られたVTR画像をもとに、鉄筋コンクリート橋脚の地震被害の識別程度を、撮影距離、ビデオカメラの焦点距離、試験車の移動速度の関数として整理すると図4のようになる。これによれば、鉄筋コンクリート橋脚の損傷が識別できる範囲で最も高速なヘリコプターの飛行速度(限界速度) $V_{max}$ に関して、以下の点が指摘される。

①鉄筋のように小さな調査対象は、わずかな「流れ」が生じても識別ができなくなることから、限界速度 $V_{max}$ は次のようにする必要がある。

$$V_{max} = V_L \quad (2)$$

②鉄筋に比べてコンクリートの剝落のように大きい調査対象は、ある程度の「流れ」が生じても識別が可能である。実験結果によれば、限界速度 $V_{max}$ は次のようになる。

$$V_{max} = V_L + 20 \quad (3)$$

#### 5. まとめ

ヘリコプターによる震災情報の収集能力を明らかにし、震後の時期区分に応じて必要とされる情報に対応したヘリコプターの飛行方法及び飛行速度を検討した。これにより、現状の機材・技術でもかなりの精度で震災状況の把握が可能になるものと考えられる。今後は、ヘリコプターによる震災調査の実用化に向けて、必要とされるヘリコプターの台数及び飛行体制等について検討する必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 川島、運上、杉田、加納、飯田：ヘリコプターを用いた上空からの震災状況の把握、土木研究所資料、第2802号、平成元年9月
- 2) 川島、杉田、加納：ヘリコプターから撮影したビデオ映像による地震被害状況の把握、土木技術資料、Vol. 33、No. 1、平成3年1月
- 3) 川島、杉田、加納、飯田：震災情報の収集に対する熱赤外線ビデオの適用性、土木技術資料、Vo 1. 33、No. 1、平成3年1月



写真1 橋梁に対する震災状況の把握能力  
(高度320mから撮影した可視ビデオカメラの映像)



写真2 河川堤防に対する震災状況の把握能力  
(高度334mから撮影した熱赤外線カメラの映像)

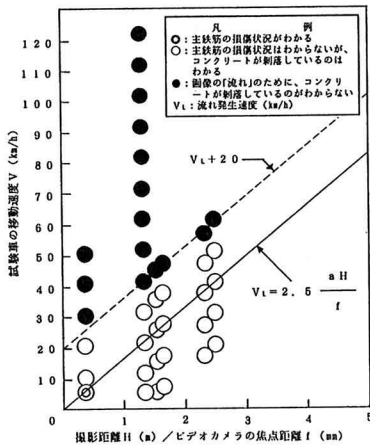


図4 被害の識別程度と撮影距離、カメラの焦点距離、試験車の移動速度の関係

表1 震後の時間経過に応じた震災復旧の基本方針

復旧の区分	震災発生後の時間	震災復旧の基本方針
震災復旧の第1段階	発震～約1時間後	被災状況の概略を把握して復旧方針を定めるとともに、二次災害の危険性を適切に判定し、必要に応じて緊急措置を行う。
震災復旧の第2段階	約1時間後～約1日後	施設全体の被災状況を把握し、二次災害の危険性、復旧の緊急性、施設の用途・重要度、本復旧までの工期等に応じて応急復旧を行う。
震災復旧の第3段階	約1日後～約1週間後	施設の重要性、被災箇所・程度、復旧の難易度、施設の将来計画を考慮して本復旧水準を定めるとともに、地域の将来計画を考慮して本復旧を行う。

図1 震後の時間経過に応じたヘリコプターの飛行方法

	震災復旧の第1段階	震災復旧の第2段階	震災復旧の第3段階
緊急飛行	←→		
一定飛行	←→	←→	
調査飛行	←→	←→	←→

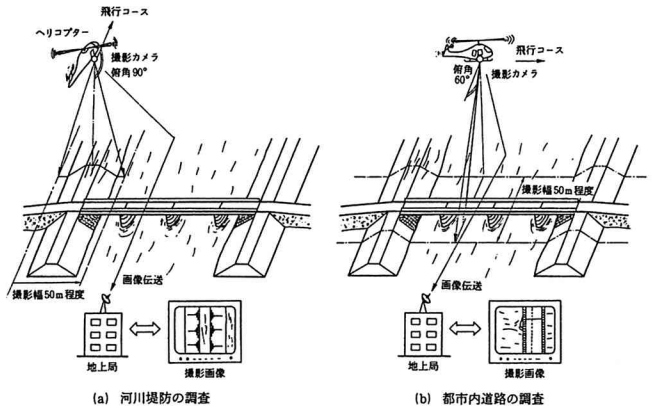
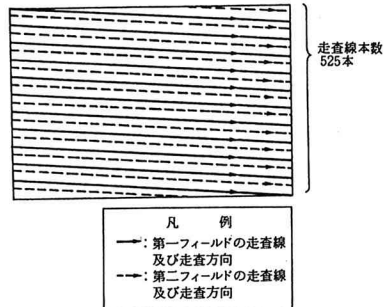


図2 一定飛行における飛行方法の例



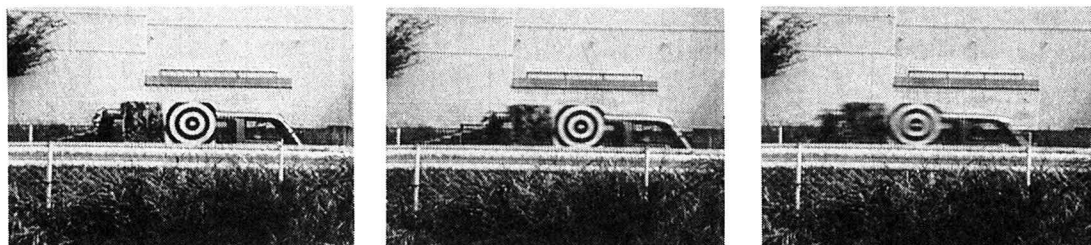
注) インターレース方式では、2つの操作フィールドより1画面が構成される。

図3 VTR画像の構成

表 2 道路施設及び河川施設に対する緊急調査項目

道路施設		調査項目	調査の有効性	河川施設		調査項目	調査の有効性				
道路	平坦道路	大きな陥没	○	堤防(土堤及び特殊堤共通)	天端	天端亀裂	○				
		大きな亀裂	○			天端陥没	○				
		低盛土及び高盛土	大きな陥没			○	法面	法面縦断亀裂	○		
		路面・切土のり面	路体沈下			○		法面横断亀裂	○		
			流出			○		法面崩壊	○		
	斜面・切土のり面	大規模斜面崩壊	○		堤体全体	漏水	△				
		大きな落石	○			決壊・浸水	○				
		大きな決壊	○			堤体沈下	○				
		橋梁	全体			落橋	○	特殊堤	擁壁	擁壁の傾斜	△
			橋面			高欄・地覆のずれ、折れ角及び蛇行	○			擁壁の転倒	○
縦断線形の折れ角	△	縦目部		縦目のずれ	△						
伸縮部の開き、盛り上がり	△			縦目の開口	△						
伸縮部の断差	△			護岸工	亀裂	△					
上部構	不連続な折れ・たわみ	△			崩壊	○					
下部構	張り出し部の大きな亀裂	△	滑動		△						
	傾斜	○	はらみ		△						
	沓座部の欠け落ち	△	閘門・樋管・水門		函体	亀裂	×				
強り出し部の大きな亀裂	△	閘門・樋管・水門		継手・目地の開き	×						
坑口周辺の斜面崩壊	○			閉塞	×						
覆工の大規模な崩壊	×			軸線の曲がり	×						
トンネル		路面への突出		○	門柱	亀裂	○				
		本体の大きな破損	×	傾斜		△					
共同溝		大きな路面陥没	○	翼壁・胸	目地の開き	△					
カルバート・地下横断歩道橋		本体の大きな破損	×		はらみ出し	△					
		落橋	○		倒壊	○					
横断歩道橋		橋脚の大破損	○	吞土口	大きな損傷	△					

○：ヘリコプターによる調査が有効なもの、△：ヘリコプターによる調査が比較的有効なもの、×：ヘリコプターによる調査ができないもの

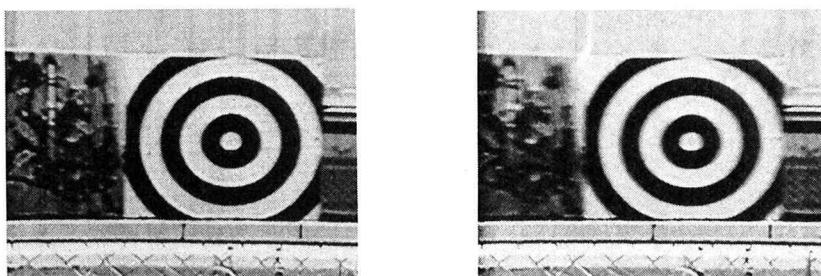


(a) 10km/h

(b) 20km/h

(c) 40km/h

写真4 撮影距離50m、カメラの焦点距離143mmの時のVTR画像  
(式(1)による流れ発生速度  $V_L = 200\text{km/h}$ )



(a) 5km/h

(b) 10km/h

(主鉄筋まで詳細に識別できる)

(主鉄筋は分からないが、コンクリートの剥落は識別できる)

写真5 撮影距離50m、カメラの焦点距離143mmの時のVTR画像