

航空事故調査報告書

所 属 新日本ヘリコプター株式会社
型 式 アエロスパシアル式A S 3 3 2 L 1 型（回転翼航空機）
国 籍 登 録 記 号 J A 6 6 8 6
事 故 種 類 物資輸送作業中における地上作業員の負傷
発 生 日 時 令和6年4月12日 10時01分頃
発 生 場 所 静岡県静岡市葵区^{あおい}

令和7年8月8日

運輸安全委員会（航空部会）議決

委 員 長 李家賢一（部会長）

委 員 高野 滋

委 員 丸井 祐一

委 員 早田 久子

委 員 津田 宏果

委 員 松井 裕子

1 調査の経過

1.1 事故の概要	新日本ヘリコプター株式会社所属アエロスパシアル式A S 3 3 2 L 1 型 J A 6 6 8 6 は、令和6年4月12日（金）、生コンクリートの輸送のため、静岡県静岡市葵区内の中河内場外離着陸場から送電鉄塔の建設現場の荷つり・荷下ろし場へ飛行した際、ステージ ^{*1} から約50ft（約15m）付近の高さに進入したところ、ダウンウォッシュにより、ステージに置かれていた型枠材が浮き上がり、待避していた地上作業員の足に接触し、同作業員が重傷を負った。その他の人員にけがはなく、機体の損傷はなかった。
1.2 調査の概要	運輸安全委員会は、令和6年4月18日、事故発生の通知を受け、本航空事故の調査を担当する主管調査官ほか2名の航空事故調査官を指名した。 本調査には、事故機の機体及びエンジンの設計・製造国であるフランス共和国の代表及び顧問が参加した。 原因関係者からの意見聴取及び関係国への意見照会を行った。

2 事実情報

2.1 飛行の経過	同機の作業記録並びに機長、機上整備員及び作業員の口述によると、飛行の経過は概略次のとおりであった。 (1) 飛行の経過 同機は、機長及び機上整備員の計2名が搭乗して中河内場外離着陸場を08時50分頃離陸し、中河内場外と送電鉄塔建設現場の荷つり・荷下ろし場間の生コンクリート（以下「生コン」という。）輸送を13回行った後、燃料1,000lb（454kg）を給油した。燃料給油後の10時01分頃、事故現場の西南西の方向から生コン用ホッパータンク ^{*2} （以下
-----------	--

*1 「ステージ」とは、荷つり・荷下ろしのために設置された工事用の作業台をいう。

*2 「生コン用ホッパータンク」とは、ヘリコプターがつり下げた生コンバケットから生コンを一度流し込むための装置をいう。

「ホッパータンク」という。) 上空へ、ステージ上面から高さ約 50 ft (約 15 m) 付近に進入したところ、ダウンウォッシュ*3によりステージ上に置かれていた型枠材が浮き上がり、型枠材の横に待避していた作業員の足に接触し、同作業員は重傷を負った。その他の人員及び機体に異常はなかった。機長の口述によると、ホッパータンク上空へ進入する場合は、本事案発生時も含め、毎回同じ進入経路となるようにホッパータンクを正面目標にして、手前 20 m ぐらいから対地速度 15 kt 以下とし、機上整備員の誘導を受け、徐々に減速して進入し、ホッパータンク上でホバリングした後、生コン用バケット*4をホッパータンクに接地させ、生コンを放出していた。同機は、事故発生後、作業員の負傷に関する情報を得ていなかったため、12 時 58 分まで計 51 回の生コン又は物資輸送を継続した。

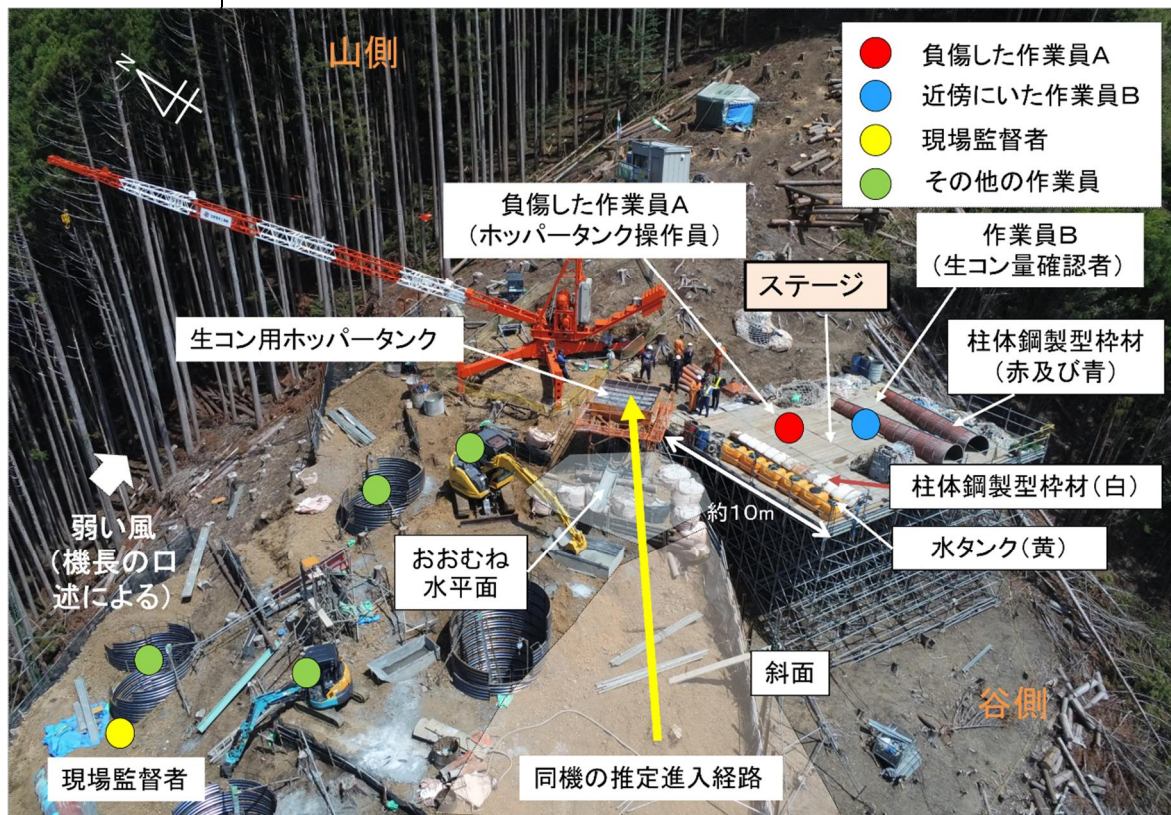


図 1 事故発生時の各配置と同機の推定飛行経路

(2) 負傷した作業員 A 及び近傍にいた作業員 B の口述

同機が燃料給油後、生コン用バケットをつり下げ、ホッパータンク上空に進入を開始した際、2 名の作業員は、直前の輸送時より強いダウンウォッシュを感じた。4 枚重ねにしてあった型枠材 (白) (2.7(1) 参照) が、カタカタという音をさせながら振動し始め、その直後、型枠材の横で待避していたホッパータンクのハンドル操作員である作業員 A に向かって、最上段の 1 枚が浮き上がり、南側の型枠材の幅の広い端を支点に裏返るようにして北側の先端部が移動した。作業員 A は、自分に向かってきた

*3 「ダウンウォッシュ」とは、ヘリコプターのメインローターが揚力を発生させる際の誘導流によってメインローター後方 (下方) に形成される下降気流をいう。

*4 「生コン用バケット」とは、ヘリコプターのフックにつり下げ、遠隔操作により、生コンを排出することができる機材であり、バケツ構造で、底部が開閉可能な底板を有しているものをいう。

型枠材を手で抑えようとしたが抑えきれず、型枠材が裏返りながら右膝上部と左膝下部に接触し、負傷した。近傍の作業員Bは、型枠材が浮き上がった際、何かに当たるような音がしたので、同機が上昇を開始した後、作業員Aに「大丈夫か。」と確認したが、作業員Aは、膝の痛みはあったが、出血はないと思ったので「大丈夫。」と返事をした。その後、作業員Bは、ダウンウォッシュで飛散しないよう浮き上がった型枠材にワイヤー等の重りを載せ、残った白の型枠材3枚はボルト用のねじ穴を利用して、鉄線を通して固定した。また、現場監督者は、生コンの移動先となる土台の建設現場付近にいたため、型枠材が浮き上がったことは気が付かなかった。

作業員Aは、同機が他の建設現場の物資輸送を行っていた12時00分頃、膝付近が少し出血していたので、現場監督者に負傷の状況を報告し、自力で歩行できたので、移送用モノレールにより下山した。現場監督者は、12時03分頃、遠隔地にいた現場責任者へ電話にて作業員Aが負傷し下山した旨を報告した。

2名の作業員は、ダウンウォッシュの危険性について、工事に関する事業が開始される前に行われる集合教育において、繰り返し教育を受けていたので、危険性は認識していたつもりであったが、型枠材のような重量物が飛散するとは想像していなかった。

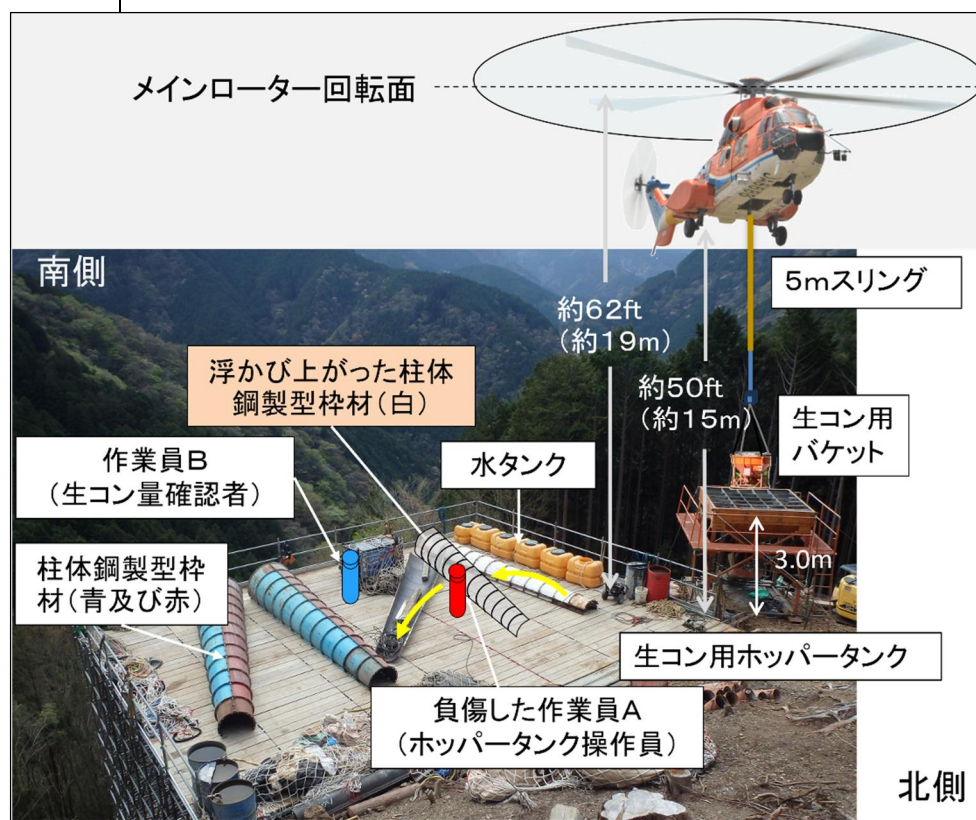


図2 同機進入時のステージ付近の状況（合成図）

本事故の発生場所は、北緯35度10分28秒、東経138度19分15秒、発生日時は令和6年4月12日10時01分頃であった。

2.2 死傷者

地上作業員1名 重傷（^{ひだりかたいざそう}左下腿挫創：48時間を超える入院加療を要する負傷）

2.3 損壊	航空機及び地上機材の損壊：損傷なし
2.4 乗組員等	(1) 機長 47歳 事業用操縦士技能証明書（回転翼航空機） 平成12年4月3日 特定操縦技能 操縦等可能期間満了日 令和8年3月29日 限定事項 陸上多発タービン機 平成24年3月16日 アエロスパシアル式SA330型 平成28年5月9日 第1種航空身体検査証明書 有効期限 令和6年12月24日 総飛行時間 6,439時間42分 最近30日間の飛行時間 41時間08分 同型式機による飛行時間 776時間08分 最近30日間の飛行時間 30時間02分 (2) 作業員A 50歳 建設業経験年数 30年 ヘリコプター物資作業による送電線基礎工事経験 9年
2.5 航空機等	航空機型式：アエロスパシアル式AS332L1型 製造番号：2350、製造年月日：平成3年10月4日 耐空証明書：第大-2023-645号、有効期限：令和7年2月27日 飛行時間：7,144時間26分 事故当時、同機の重量は8,707kg、重心位置は463cmと推算され、いずれも許容範囲（最大離陸重量9,350kg、事故当時の重量に対応する重心範囲440～480cm）内にあったものと推定される。
2.6 気象	(1) 気象台の観測 事故現場から南南西約5.4kmに位置する静岡地方気象台の事故関連時間帯の観測値は、次のとおりであった。 10時00分 風向 東北東、風速 3.4m/s、 視程 20km、天気 曇り、 気温 17.4℃、露点温度 8.0℃、 気圧 1020.8hPa (2) 機長による口述 機長の口述によれば、事故現場付近の気象は、次のとおりであった。 風 西北西の弱い風、視程 10km以上、天気 曇り
2.7 その他必要な事項	(1) 柱体鋼製型枠材の概要 送電鉄塔の基礎を建築する際に使用する柱体鋼製型枠材は、120°の円弧で三分割され、白、赤、青に色分けされた1個の長さ0.50mの型枠材を色ごとにボルトで必要な長さに連結した後、3色を組み合わせ使用。事故発生時に浮き上がった白の型枠材は、全長6.50m（型枠材13個連結、先細り形状で下部側の幅1.08m、上部側の幅0.52m）で、1枚の重量139.77kgであった。（図3参照） 図2のとおり、事故当時、赤及び青の型枠材は組み上げられ円弧の部分を上向きに置かれていた。白の型枠材は、4枚が重なって配置されていた。これらは、輸送された生コンを流し込む際の型枠材として、所要の時期に送電鉄塔の基礎において組み上げられるものである。

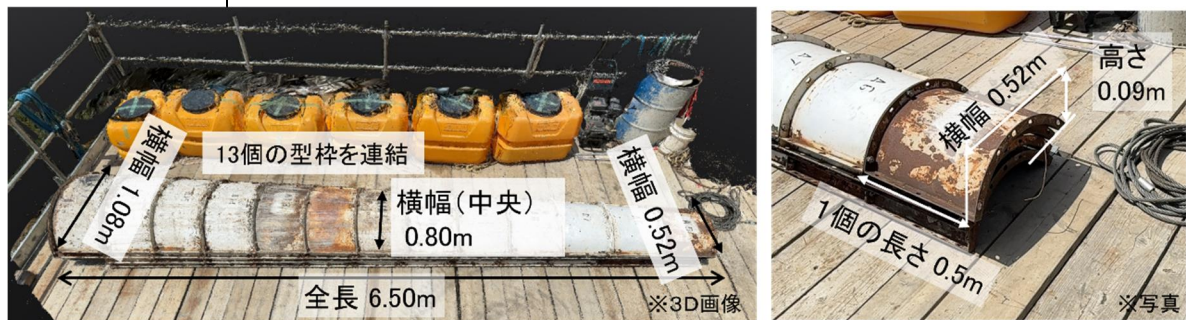


図3 柱体鋼製型枠材

(2) フライト・レコーダーの記録

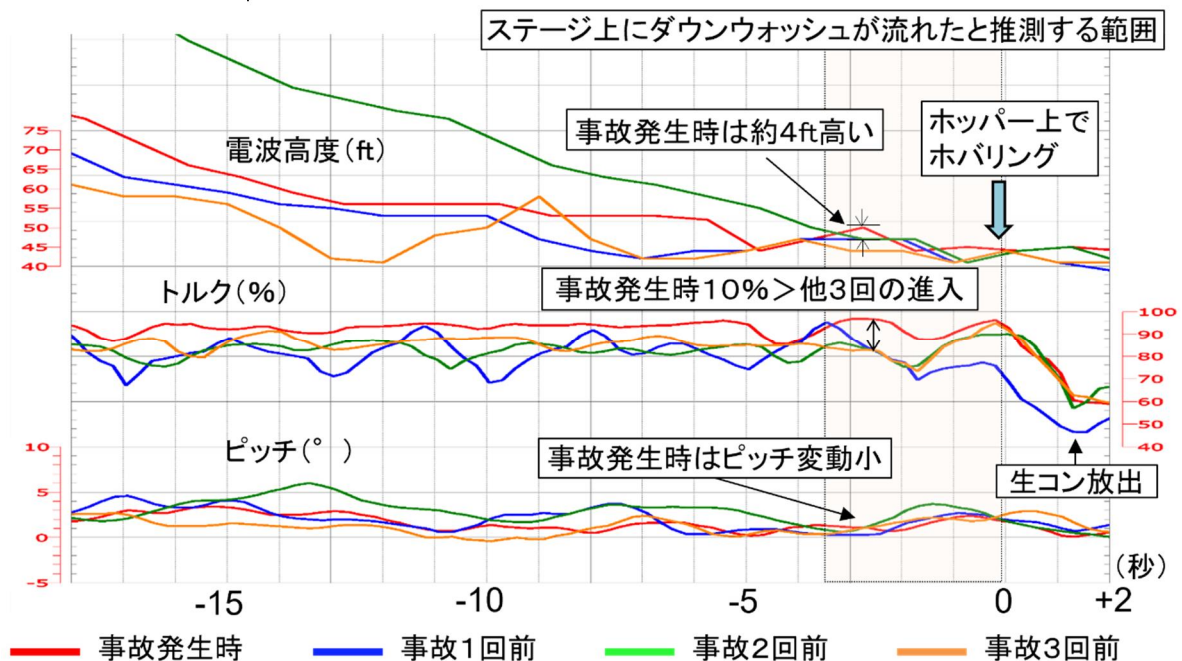


図4 進入時のエンジントルク値、ピッチ姿勢及び電波高度の比較

同機には、一体型レコーダー（飛行記録装置及び操縦室音声記録装置）が搭載されていたが、事故現場付近での低高度では、GPS情報が正常に記録されていなかったため、事故発生時のGPS速度及びGPS位置については、正確な情報は得られなかった。図4は、事故発生時及びその前3回の飛行について、同機が生コン用ホッパータンク上に入進した際の電波高度、エンジントルク^{*5}及びピッチ姿勢の変化を比較したものである。

(3) 地上におけるダウンウォッシュの影響 (Airbus Helicopters 社 SAFETY PROMOTION NOTICE^{*6} 抜粋)

① 地面効果^{*7}外でホバリングした際のメインローターから吹き出されるダウンウォッシュの平均の推定風速（理論値）

*5 「エンジントルク」とは、メインローターを回転させるエンジンの出力軸のひねりの力を計測した値をいい、絶対値（N・mなど）ではなく、“%”表示により使用される。これにより、制限値などの判断をしやすくし、高度及び温度に関係なくエンジン出力を比較することができる。

*6 Airbus Helicopters of SAFETY PROMOTION NOTICE “GENERAL, Noise & downwash considerations for ground operations” No. 3684-P-00, Revision 0 2021-11-22

*7 「地面効果」とは、誘導流が地面と干渉することにより発生する効果をいい、ヘリコプターは地面効果の影響を受けると気流が地面と循環することにより、メインローターを回転させるために必要なエンジン出力が減少する。

ヘリコプターが地面効果外でホバリングした際のローター面から吹き出される誘導流の速度（以後「誘導速度」という。）（理論値）は、図5のとおり、二つの主なパラメーターである航空機の重量及びローター面積と、温度、高度並びに圧力に依存する空気密度を用いて計算が可能である。

図5のとおり、ヘリコプターがホバリングした際の地面の影響を受けない範囲においては、ローター面から吹き出された平均の誘導速度（ V_i ）は、ローター面下方のダウンウォッシュとなり、ローター面の直径約1～3倍の距離では流速が2倍に加速される。流速は、ブレードの先端が最も速く、ブレードの先端を巻き込むような翼端渦が発生し下方に流れる。また、この距離を超えると、乱流によって流れが少しずつ消散し、流速が徐々に0に近づき、直径の約10倍の距離で空気が静止する。

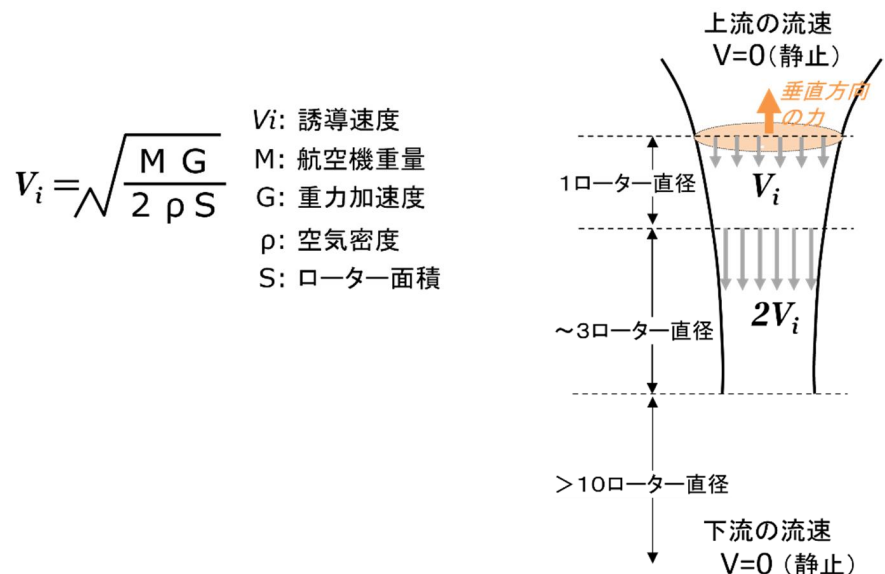
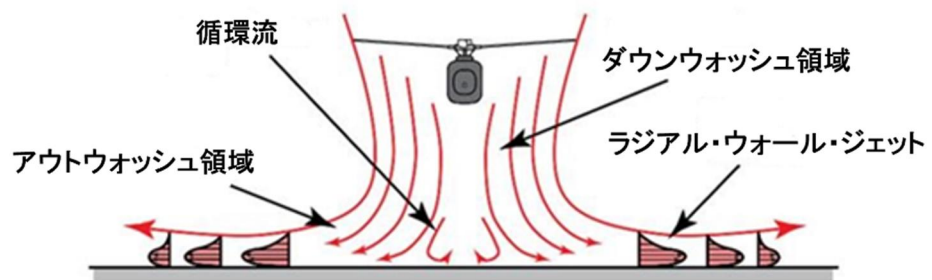


図5 ホバリング中の誘導速度の変化

② 地面の影響を受けるダウンウォッシュの変化

ダウンウォッシュが地面付近を流れる場合は、図6のとおり、地面の影響を受ける。気流は地面によって流れる方向が変化し、アウトウォッシュとなって外側に流れる。外側に流れる気流は、放射状にウォール・ジェット（壁面噴流）となって、流速は一時的に増速し、水平距離が離れると徐々に減速する。



Ref: Experimental Investigation of Rotorcraft Outwash in Ground Effect

図6 地面効果内のアウトウォッシュ領域の流速の加速

③ 胴体付近の気流の変化

図7は、ローター・ディスク付近の誘導速度の分布の一例である。この例では、流速が速い部分は、ブレードの翼端に集中している。これは、ブレードが回転する方向の相対速度は翼根よりも翼端が速くなり、翼端下の誘導速度がローター・ディスク全体の平均誘導速度よりも速くなるためである。また、図8は、ヘリコプターが地面付近でホバリングしているときの気流を示したものである。通常、ローター・ディスクは完全に水平ではないため、図8の機体正面から見た流線のとおり、胴体の影響を受ける。胴体付近の気流は単純ではなく、マスト軸に対して左右の流れは異なり、局所的な加速を引き起こす可能性がある。さらに、気流は地面の影響を受け、複雑な流れとなる。

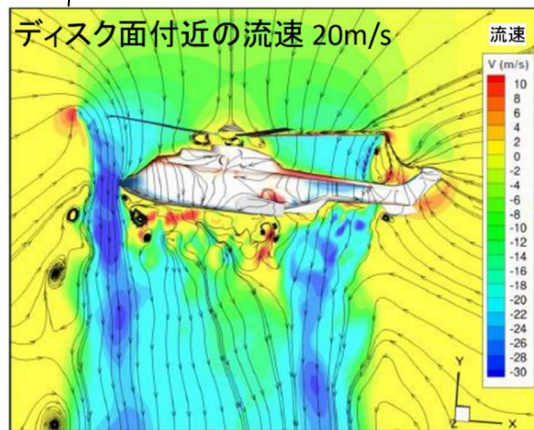


図7 ローター・ディスク付近の誘導速度の分布

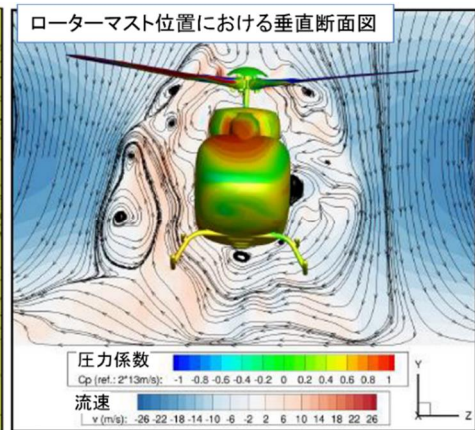


図8 ホバリング時の胴体付近の気流の変化

3 分析

(1) 気象の影響

機長の口述によると、事故当時、事故現場付近には西北西から弱い風が吹いていた。西北西の弱い風は、同機の推定進入経路に対して左後方からの風となるため、ダウンウォッシュが風下となるステージの方向へ流れ、風速に影響を与えた可能性が考えられる。

(2) ダウンウォッシュがステージ上へ流れた範囲

ホッパータンク横のステージは、図1のとおり、山の斜面上に位置し鉄パイプで組み立てられ、下方が吹き抜ける構造であった。メインローター・ブレードの先端がステージ直上に到達してから、ホッパータンク上でホバリングするまでの距離は、図9のとおり、約11mである。進入中は、風による影響を除くと、ダウンウォッシュの多くは、メインローター面がステージ上に重なるまでは斜面の谷側へ流れるため、型枠材はダウンウォッシュの影響を受けないと考えられる。また、機長の口述によると、ホッパータンクの手前約20mを対地速度15kt以下で進入したとのことから、ホッパータンク直上でホバリングしたと仮定すると、約3kt/秒の減速率が必要であった。この減速率からメインローター面がステージ上面と重なった範囲となる11mを飛行した時間は約3.5秒であり、この間に強いダウンウォッシュがステージ上面を流れたと考えられる。

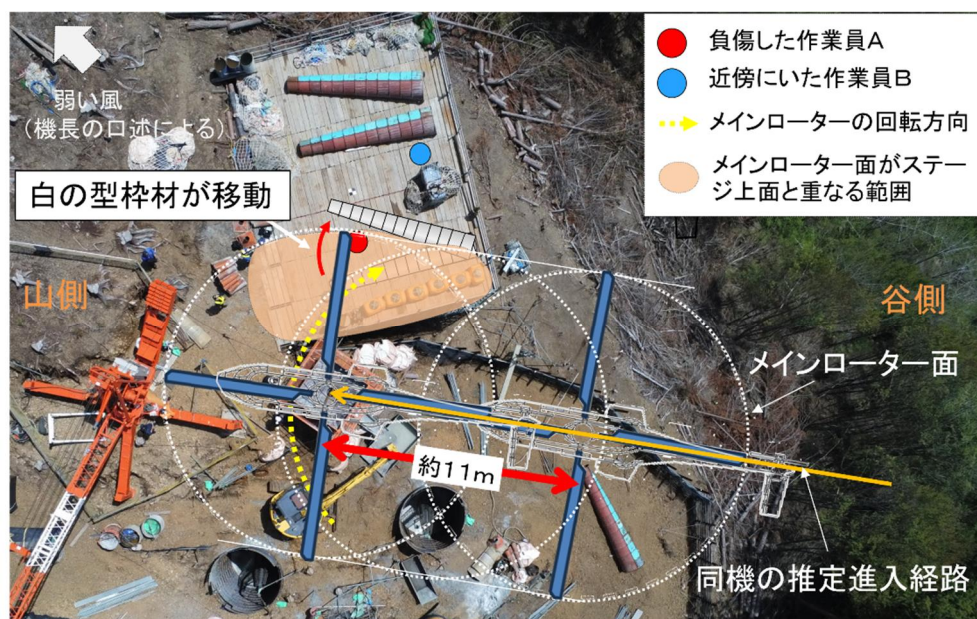


図9 ステージ上でダウンウォッシュが影響した範囲

(3) 進入時のダウンウォッシュに関する比較

同機のフライト・レコーダーには、GPSによる速度及び位置情報が正常に記録されていなかったが、図4のとおり、ダウンウォッシュの強さの違いに関与するエンジントルク、ピッチ姿勢及び電波高度により、事故発生時を含む4回の進入について、ホッパータンク上にホバリングする直前の約3.5秒で比較した。

4回の進入を比較すると、事故発生時は、他の3回よりステージ上にダウンウォッシュが流れたと推測される範囲において、ホッパー上でのホバリングの約3秒前では電波高度計の表示は約4ft 高く、機体を降下させながら進入した。また、生コン放出直前のエンジントルクの変化を比較すると、事故発生時のエンジントルクは、他の3回より1.5秒の間、約10%高い数値を示していた。さらに、ピッチ姿勢は、角度が浅く、姿勢の変化は小さかった。

事故発生1回前の進入については、ピッチ姿勢の変化は小さく、事故発生時と電波高度の変化が類似しているが、事故発生時を含む他の3回と比較して、エンジントルクが全体的に著しく低いことから、燃料消費による機体重量の減少に加え、一時的に風の影響を受け、飛行に必要なエンジントルクが低くなった可能性が考えられる。

これに対して、同機の事故発生時の進入は、高いエンジントルクが使用されてダウンウォッシュの風速が速くなり、かつ高度を降下させながら、浅いピッチ姿勢で変化が小さいことから、ダウンウォッシュの流れる方向は下方に集中しやすくなり、他の3回の進入よりも、強いダウンウォッシュが継続的にステージ上に流れたと考えられる。これは、「直前の輸送時より、強いダウンウォッシュを感じた。」という2名の作業員の口述と一致する。

(4) ステージ上のダウンウォッシュの流れ

図10のとおり、同機がホッパータンクにバケットを接地させた際のローター面からステージ上面までの高さは、約19mとなり、ホッパータンク手前の進入中のステージまでの高さは、ローター直径の15.6m以上となる。また、この高さは、ダウンウォッシュの風速が2倍に加速されることから、図11のとおり、事故発生時の環境条件においては、同機の誘導速度は約26kt、加速されるダウンウォッシュの平均推定風速は約53kt (27m/s) と推算される。さらに、約454kgの燃料を搭載する前の生コン輸送時の重量におけるダウンウォッシュの平均推定風速は、約51kt と推算される。加えて、型枠材が浮き上がった位置は、図9のとおり、メインローター面の先端付近が通過する位置となり、2.7(3)③で記述したとおり、メインローター面の先端付近は、ダウンウォッシュが平均

の推定風速を超え、最も風速が速くなる位置であったと考えられる。それに加えて、白の型枠材の手前には水タンクが置かれ、ダウンウォッシュは、その間を吹き抜けたことから、ベンチュリー効果^{*8}による流速の増加もあった可能性が考えられる。

ダウンウォッシュの流れは、胴体付近の複雑な気流の変化に加え、ステージ上の構造物の影響を受けることから、実際の流れをシミュレーションすることは困難であるが、事故発生時に同機が進入した際、ステージ上の型枠材は、カタカタと振動した後に浮き上がって裏返しになっていることから、一時的に増速したダウンウォッシュによって、型枠材を浮き上がらせる力が働き、更に型枠材を裏返し、アウトウォッシュによって落下位置まで移動させたと推定される。

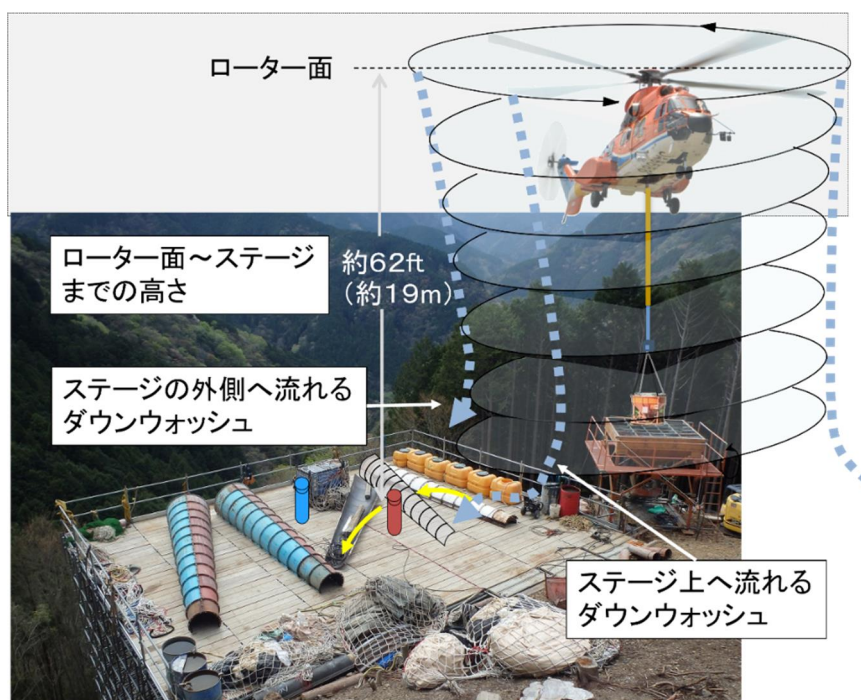


図10 ステージ上のダウンウォッシュの流れ

機体重量: 8,707 kg
 飛行高度: 1,500 ft
 推定外気温度: 14.5 °C
 空気密度: 1.216 kg/m³
 AS332Lローター直径(D): 15.6 m

誘導速度: 26.3 kt (13.6m/s)
 ダウンウォッシュ速度: 52.7 kt (27.1m/s)

図11 事故発生時のダウンウォッシュの風速

(5) ダウンウォッシュの影響からの回避

ヘリコプターによって吹き出されるダウンウォッシュは、同じような作業を繰り返していても、ローターの推力及び機体姿勢の微妙な変化、並びに周辺の風及び地上構造物の影響を受け、複雑な流れとなり、急激に増加する可能性がある。そのため、ヘリコプターが低速で通過する付近では、ダウンウォッシュにより物件が飛ばされることがないように、重量物であっても飛散防止対策を確実に行う必要がある。また、作業に従事する者は、メインローターの直下付近及び飛散物の近傍から可能な限り離れた位置で待避しておく必要がある。

(6) 不具合発生時の対応

負傷した作業員Aは、型枠材が当たった膝付近に痛みは感じていたが、出血が見られなかったため、負傷したことを報告しなかった。また、近傍の作業員Bは、型枠材が浮き上がった後、現場監督者に不具合の発生を報告せず、飛散防止対策についても、現場監督者に了解を得なかった。これにより、同機による輸送は、約3時間、51回にわたって継続された。

作業現場において、不具合事象が発生した場合は、自己判断せず、現場監督者に報告し、現場監督者は、発生した不具合事象の報告を現場責任者へ速やかに行い、作業を一時中止して、作業環境が適切に維持され、作業の継続が可能か判断する必要がある。

*8 「ベンチュリー効果」とは、流体の流れの断面積を狭めることによって、流速を増加させ、低速部に比べて圧力が低い部分が作り出される現象のことをいう。

4 原因

本事故は、同機が生コン用ホッパータンク上空へ低速で進入中、型枠材の付近に強いダウンウォッシュが送り込まれ、曲面形状の型枠材が意図せず浮き上がり、近傍にいた地上作業員に接触したため、同作業員が負傷したものと推定される。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策	(1) ヘリコプターによって吹き出されるダウンウォッシュは、ローターの推力及び機体姿勢の変化、並びに周辺の風及び地上構造物の影響を受け、急激に増加する可能性があるため、ヘリコプターが低速で通過する場所では、飛散防止対策を確実に行う必要がある。また、作業に従事する者は、メインローターの直下付近及び飛散物の近傍から可能な限り離れた位置で待避しておく必要がある。 (2) 作業中に不安全事故が発生した場合は、作業を一時中止して、負傷者がいれば必要な処置を行った後、作業環境が適切に維持され、作業の継続が可能か判断する必要がある。
5.2 本事故後に講じられた再発防止策	同社及び同工事を施工する企業体は、次の再発防止策を講じた。 (1) ヘリコプターによる物資輸送時、工事敷地内に柱体鋼製型枠材を置く場合は、飛散防止対策（ワイヤー・ロープ、鉄線等による固定、モッコ（網）掛け等）を実施する。 (2) ヘリコプターによる物資輸送時、飛散物や荷崩れ等の予兆があった場合は、巻き込まれないようすぐに退避することを現場責任者が乗込教育で指導する。 (3) 作業中に負傷した場合は、けがの大小に関わらず、現場監督者に速やかに報告することを現場責任者が乗込教育で指導する。