

2015 年度（第 51 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 15-B-1

東日本大震災での港湾災害と港湾における 災害対策の展望と課題

横浜国立大学 特任教授

宮本卓次郎

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2015 年 8 月

東日本大震災での港湾災害と港湾における災害対策の展望と課題

Disasters of Ports by the Great East Japan Earthquake and Prospects and Challenges of Port Disaster Prevention

宮本 卓次郎

Takujiro MIYAMOTO

1. はじめに

2011年3月11日、午後2時46分。東北地方の太平洋沿岸で大規模な地震が発生した。後に、東日本大震災と呼ばれる地震である。

当時、東北地方整備局の港湾、空港を担当する副局長であった私は、仙台のオフィスで職員との打ち合わせの最中だった。そこは駅に近い20階建てのビルの10階であったが、強い揺れは1分以上も続いたように思う。揺れが収まってオフィスを見ると書架から資料が落ち、テレビは店頭するなどの状況であったが職員は無事で、早速、安否確認など定められた手順を始めていた。

そして大津波警報が発令され、地震から約30分程度経過した頃に沿岸部で大規模な津波が襲った。地震直後から進めていた現地事務所の安否確認の連絡の最中に、各現地事務所を津波が襲った。平屋の相馬港の支所の職員は高所避難を終えており、他の事務所は庁舎屋上に避難することで被災を逃れた。

仙台、釜石の事務所では、周辺の住民、関係者の避難を受け入れ、合計で100名余の人命を救うことが出来た。国の事務所が堅牢であった結果であると言えるが、これも来襲する津波があと少し大きければ、どのような結果になっていたかは分からない。

このように沿岸部に立地する港湾関係の全ての現地事務所庁舎は水没し、官用、私有の自動車も被災するなど、劣悪な環境下で現地での災害対応に着手した。一方、仙台の地方整備局本局では、緊急電源装置なども完備した災害対策室は機能したものの、ガス、水道、電気といったライフラインが途絶えたため、災害対策室以外では照明、OA機器の利用などに支障を生じた。特に、現地との連絡については携帯電話も使えない状況で、数の限られた衛星携帯電話しか利用できなかった。

港湾関係業務では、たとえ緊急時の対応であっても、港湾管理者、保安部、地元市町村、関係企業、漁業関係者など、多くの関係者との連絡調整が不可欠である。しかも、このような地元での関係者との調整は現地でしか行えない。このため、港湾空港部では、現地事務所機能の回復・平常化と災害への対応を同時並行して進める必要があった。

テックフォースなど全国からの応援も得て、現地における被災状況調査、緊急航路啓開などの緊急対応に着手した。

2. 災害の状況

2-1 地震と津波

東北地方の太平洋沿岸部を襲った地震は震度5強から7であった。しかしながら、その揺れの周波数スペクトルを見ると、仙台以北では港湾構造物への影響が大きいと言われている0.3～1ヘルツの周期帯（キラーパルス）のエネルギーが比較的小さかった。一方、小名浜など仙台から南ではキラーパルスのエネルギー量が大きかった。このような揺れの周波数特性の違いによって、地震振動が原因となる被災は仙台以南に多く見られた。

一方、津波に関しては八戸～小名浜の全ての東北の港湾に甚大な影響を及ぼした。第一線防波堤のほとんどが被災し、かろうじて被災を免れたのは小名浜の台形ケーソン式防波堤のみであった。いずれにせよ、港湾では第一線防波堤の被災を始めとして、津波による様々な被害を生じた。



図－1 地震および津波の影響範囲

2-2 地震による被害

1) 防波堤の沈下

石巻港では、地震振動による液状化現象で防波堤が沈下した。この結果、防波堤天端が下がったことで、津波による倒壊を免れるという幸運にも恵まれた。

2) 岸壁の被害

小名浜港などでは、地震動による液状化などによって岸壁構造が変形、倒壊した。

3) 岸壁レールのS字変形

また、岸壁上に設置したクレーンレールも岸壁の変形に追従して被災する他、構造ブロック間の変異のズレを原因とするレールのS字変形も見られた

4) ガントリークレーンなどの被害

地震動と岸壁の変異などによって、岸壁クレーン本体にも甚大な被害を生じた。



写真-1 液状化被害を受けた小名浜港の岸壁

2-3 津波による施設被害

1) 第一線防波堤の被害

世界最大の設置水深によってギネスブックにも登録された釜石港湾口防波堤をはじめ、東北のほとんどの港湾の第一線防波堤が津波によって被災した。

なお、一般の港湾の防波堤は、その施設の設置目的から津波を設計条件とはしておらず、50年確率の高波浪時（ $H_{MAX}=15\sim20m$ 程度）に耐えるものとして設計されており、概して来襲するかもしれない津波に対

しても十分な耐久性があるものと考えられていた。津波を設計時にも考慮していた釜石港、大船渡港の湾口防波堤でも、設計時の想定津波の影響よりも想定波浪の影響の方が大きいものと考えられており、波浪条件によって防波堤の諸元が定められていた。

2) 釜石の湾口防波堤の被災と効果

例えば、釜石港の湾口防波堤の場合には、設計時の想定の高さの津波が来襲した結果、堤体ケーソンの転倒などの被害を生じている。事後の検討では安全率に換算して1弱であったことが分かった。これにより、堤体は倒壊したものの、津波による被害の抑制に大きく寄与できたと考えられている。防波堤により、防波堤内への津波の到達を6分遅らせるとともに、津波高及び到達高をほぼ半減させた。津波到達を遅らせた6分間によって避難が間に合った数百名の人命を助けた。また、津波高についても、もし半減していなければ先に述べた釜石港港湾事務所の職員・避難者（約100名）は全て助からなかったであろうと言われている。



写真-2 津波で被災した八戸港の沖防波堤

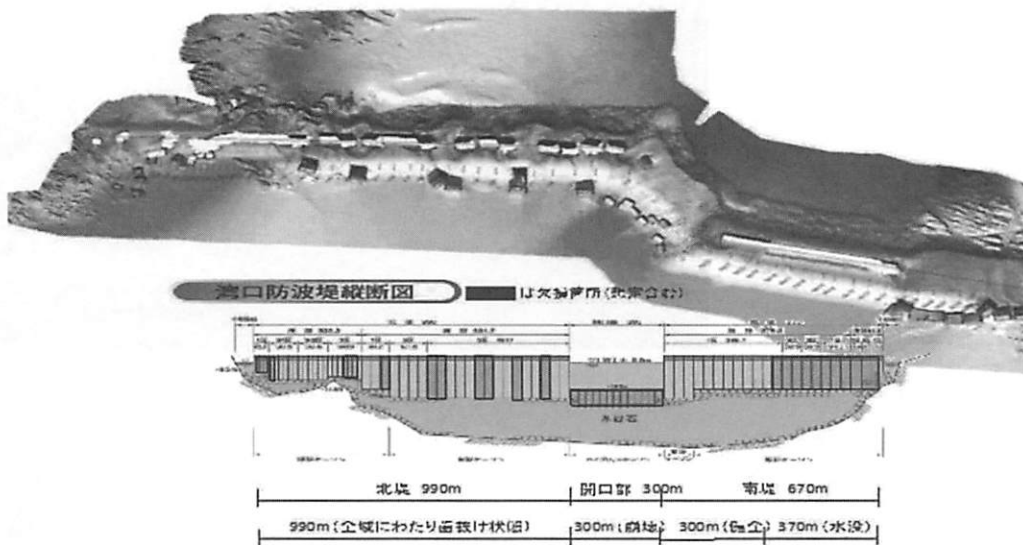


図-2 釜石港湾口防波堤の被災状況（東北地方整備局資料）

2-4 船舶の漂流・座礁

地震の発生から約30分後に津波が来襲したことから、港湾内の多くの船舶は港外避難を果たした。しかし、逃げ遅れるなどして港湾内に残った船舶のほとんどの係船索が破断し、漂流座礁した。岸壁の越流水深よりも吃水が小さい漁船や小型の貨物船の場合、陸上へ押し流され、陸上へ乗り上げ座礁したものも多くあった。また、越流水深よりも吃水が大きい大型船の場合には、陸上への乗り上げ座礁は生じなかつ



写真-3 座礁した貨物船（釜石）

たものの、浅瀬に乗り上げ座礁した例もあった。

大型船の場合には起重機等で簡単に撤去することが困難であり、再浮上できない場合には、水域での分解撤去を行わなければならない。このため座礁船舶の撤去には膨大な費用と長期の時間を要することから、長期にわたる航路閉塞を招きかねないという懸念が明確になった。

2-5 漂流・沈降瓦礫の対策と緊急航路啓開

津波の陸域への遡上により、津波の到達した陸域では、多くの人命が損なわれた他、貨物、車両、施設等の水没、流出等の物的被害が生じた。電気・機械類の水没による損傷に代表されるように多くのものは海水に水没することで機能や価値を損なう。さらに、津波の流れによる施設の倒壊・流出など、その被害は甚大である。そして、流失したものは陸域及び水域に瓦礫として分散する。

陸域では、瓦礫に塞がれた道路の啓開を行う必要があり、水域では船舶の安全な入出港を可能とするための航路啓開を行う必要がある。水域で行う航路啓開において留意すべきことは、浮遊瓦礫と沈降瓦礫の両方を撤去する必要がある、かつ、その作業手順は異なる。

浮遊瓦礫は、目視で発見出来るが、潮流などによって移動する可能性があることから、例えば航路啓開する場合には、航路水域だけでなく、航路水域に流入する可能性がある浮遊瓦礫は全て撤去する必要がある。

一方、沈降瓦礫の場合には移動する可能性は少ないものの、濁りなどもあって簡単に発見することが出来ない。このため、超音波探査による異常点の特定、潜水土による確認、作業着手、作業船の移動、潜水土による玉掛け、揚収といった手順を踏む必要があり、時間もかかる。また、濁りによる見通しの悪さ、鋭利な瓦礫の存在など、潜水作業は極めて危険性が高く、困難なものであったと報告されている。



写真-4 陸域を埋める津波瓦礫



写真-5 石巻港の浮遊木材



写真-6 漂流瓦礫の回収

2-6 その他

1) 油等の流出

地震、津波によりタンク施設などが被災して燃料油が海域に流出し、更に、発火炎上するという事態も生じた。大量の燃料油が海域に流出して炎上する事態は凄惨であるが、もし海域に流出した燃料油が炎上せず海面に滞留した場合には、発火炎上や有毒成分への懸念から、その除去が終わるまで付近に立ち入ることも出来なくなってしまう。その結果、被災者の救助を始め



写真-7 炎上する海面

として、海域及び沿岸部における全ての作業に支障を生じてしまう。実際、仙台港では燃料油が流出したために、航路啓開作業を中断し、作業員が全員避難するという事態も生じた。これらのことから、災害時の燃料油の流出防止には万全を期す必要があることが改めて確認された。

2) 地盤沈下

地震の結果、土質工学的な地盤沈下などとは別に、地殻変動による地盤の沈下も発生した。沈下量は最大で1メートルを超えていた。地震の専門家によれば、時間経過とともに若干戻る可能性があるようであるが、地殻変動による地盤沈下は構造物に限定されない広範な領域に生じる現象であることから、構造物の被災とは違った意味で影響が大きい。

3. 広域的な港湾物流機能停止の影響と緊急対応

東日本大震災では津波による被害が甚大であったことから、その被害は津波の到達域となる沿岸部に限定されていたと言える。そして、沿岸部において人口と資産が集中しているのが沿岸に点在する港湾・漁港の立地する港町である。

港湾は物流の要であるばかりでなく、産業の立地の場でもある。物流機能と産業機能が損なわれたことによる顕著な影響は燃料油の不足であった。燃料油の不足によって被災地での自動車の利用が大きく制限されたばかりでなく、航路啓開作業にも支障を生じた。また、帰路の燃料難を懸念して救援物資輸送を躊躇するトラックもあり、その影響は極めて甚大であった。この事態を受けて、港湾における航路啓開についても優先順位の見直しを行い、緊急物資輸送に加えて燃料油の受け入れ配分機能が維持されていた仙台港塩釜港区と八戸港のオイル・ターミナルでの油槽船の受け入れが最優先とした。

また、飼料穀物の不足により養鶏、養豚などにも甚大な影響を生じた。例えば、南部地鶏は、親鳥への餌の供給を断念し、タネ鳥（雛）だけを温存することとして必要最小限の飼料確保を図った。港湾からの輸送距離が比較的短い（足の短い）バルク貨物に関しては、広域的な港湾機能の停止により地域の経済活動に大きな影響を及ぼすということが改めて明らかとなった。

一方、バルク貨物と比較すれば足の長いコンテナ貨物については、地震津波の影響が小さかった内陸荷主のコンテナ物流ニーズに対して、横浜港などの主要港が受け持った他、日本海側港湾が補完的機能を果たし

た。

4. 復興協議会の設置

緊急航路啓開の後、港湾施設の復旧を進めなければならないが、ほぼ全ての港湾で、ほぼ全ての施設が何らかの形で被災した東北太平洋沿岸の港湾において、全ての施設を同時並行して早期に復旧することは当初から絶望視されていた。人材も含めて、施設復旧に必要とされる資源に限られる中で、どの港湾機能から回復させなければならないのかという、復旧の優先順位を決定する必要があった。すなわち、経済活動が震災の影響を受けた結果、物流ニーズが停滞しているのに、敢えて、停滞した物流ニーズに対応した施設を先行的に復旧することは無駄である。一方で、物流ニーズが維持され、或いは早期に回復することが明らかであるにもかかわらず、港湾の物流機能の復旧が遅れば、企業の復旧努力を無にすることになってしまう。従って、望ましい港湾機能の復旧は、物流ニーズの回復に歩調を合わせ、或いは、薄皮一枚先んじるということが重要であると考えた。かつ、緊急に暫定的にでも機能回復する施設をどのように選択するかという目前の課題もあった。更にいえば、早期に復旧した施設については、平時の利用区分とは異なり、共同でも利用してもらうことが必要である。これらの問題意識から、被災した港湾毎に情報を共有し、また、復旧の方策などを協議するために「復旧連絡会議」を設置することとした。これは多様多彩多数の関係者が協力して機能する港湾の特殊性に対応したものである。具体的には地方整備局に加えて、港湾管理者である県、港長である保安部、港湾運送事業者を始めとする港湾サービスを構成する業界、港湾立地企業、地元市町村、関係漁協など、港湾を利用し、或いは港湾にかかる工事の実施等で調整が必要とされる関係者が一堂に会するものとした。

この復興協議会では、全ての関係者が被災し、早期の復興を望んでいるといった意味合いにおいて目標を共有していたということもあり、かつ、それぞれの立場で他者の情報を求めていることから、まず何より協議会の設置そのものが歓迎され、協議会は総じて円滑かつ有効に機能した。

5. 港湾機能の復旧のための2つの指標（工程比較と需給ギャップ）

港湾機能の復旧の優先順位等の必要性の背景については、先に述べた通りである。例えば、港湾に立地する飼料工場や製紙工場、石炭火力発電所など、港湾施設と同様に産業機能が地震津波の影響を受けたものについては、それぞれの産業機能の復旧工程と港湾物流機能の復旧工程を調和させることが重要である。よって、このような物流ニーズに関しては産業機能の復旧工程と対比しながら港湾施設の復旧のスケジュールを検討した。（工程対比型）

一方、コンテナ貨物のように内陸の物流ニーズが温存されているにも関わらず、港湾機能が損なわれたために、他港に依存している物流ニーズに関しては、潜在的な物流ニーズと港湾の物流能力との差（需給ギャップ）を最小化することを目標として港湾施設の復旧スケジュールを検討した。

6. 港湾機能の回復

地震の発生が3月11日。そして大津波警報の解除に3日間を要し、港湾の緊急航路啓開に着手できたのが3月14日であった。ただし、東北地方太平洋沿岸部には作業可能な作業船団はおらず、全国から作業船

団を被災した港湾に集める必要があった。作業船団は航行性能に劣ることもあり、荒天の中、更に、福島原発事故の影響を懸念しながらの航行であったが、早く到着したものは港湾の沖合で待機し、津波警報の解除と共に航路啓開作業に当たった。

当時、東北地方整備局では優先的に航路啓開する重点港を定め、優先度の高い港湾に早期に到着した作業船団を順次割り当てるという方針で臨んだ。加えて、作業着手の直後から燃油不足の影響が深刻化したため、タンカー受け入れの可能なターミナルを調査し、八戸と塩釜のターミナルが受け入れ可能であるとの情報を得て、これらへのタンカー受け入れを最優先目標として作業船団を振り向けた。

このような対応の結果、地震発生から10日後の3月21日には、仙台塩釜港にオイルタンカーを受け入れることが出来た。

また、仙台港よりも以北では地震による構造物被害が比較的軽微であったこともあり、特段の荷役機械設備を必要としない長距離フェリーについては地震発生から2週間後の3月25日、仙台港に入港できるようになった。このようにフェリーは船舶が入港でき、かつ、着岸できれば、荷役設備を必要とせずに人、貨物、車両を輸送できる。フェリーは救援の自衛隊の隊員と車両の移動にも活躍し、その災害時の有効性を示した。

フェリーとは対照的に荷役設備が完備していないと貨物を取り扱えないコンテナに関しては、主として津波による被害であった八戸港のコンテナターミナルに地震後約2ヶ月を経てコンテナ船が入港し、津波と地震の影響を受けた仙台港のコンテナターミナルは再開に更に多くの日数を要した。しかし、約2ヶ月で再開した八戸港のコンテナターミナルについても、当初は沖合の防波堤が被災したままであったことから、岸壁全面の静穏度が不十分でコンテナ荷役作業は困難なものであった。この対応として、防波堤の復旧に先駆けて大量の消波ブロックを用いた静穏度対策を進めた。

このように、港毎に地震・津波の影響度の違いに加えて、荷役形態の違いが港湾機能の災害に対する脆弱性を左右することが改めて確認された。

7. 東日本大震災の教訓を踏まえて

7-1 津波による防波堤の被災メカニズムと粘り強い防波堤

被災事例の分析や実験などによって、津波による防波堤の破壊メカニズムの解明が進められた。結果、津波の場合には防波堤の内外水位差の作用に加えて、越流やマウンドの浸透流によるマウンドの破壊、津波により発生する流れによる海底の洗掘などが複合的に影響することが判明した。

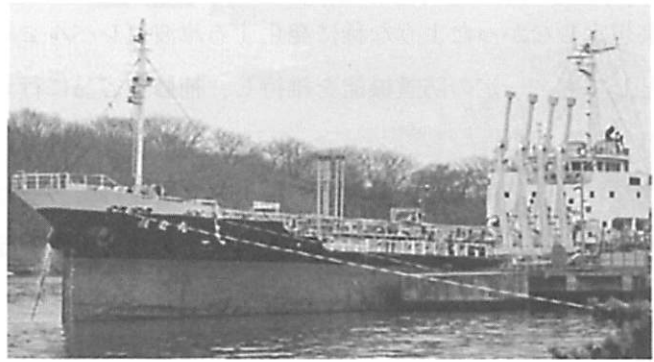


写真-8 仙台塩釜港に入港する油槽船 (3 2 1)



写真-10 仙台港に入港するフェリー (3 2 5)

一方、釜石港の湾口防波堤の事例などから防波堤による津波災害の抑制効果も明らかとなったことから、従来想定しなかったような稀に発生する津波（レベル2津波）に対して、ある程度の被災はやむを得ないこととしても、一定の防護機能を維持し、補修を容易に行える「粘り強い」防波堤の整備を進めるという方針が打ち出された。

すなわち、阪神淡路大震災での被災経験を受けて、それ以前までは単一であった港湾施設の設計震度にレベル1、レベル2を設け、東日本大震災での津波災害を受けて津波についても二段階の設計条件を設定するようになった。

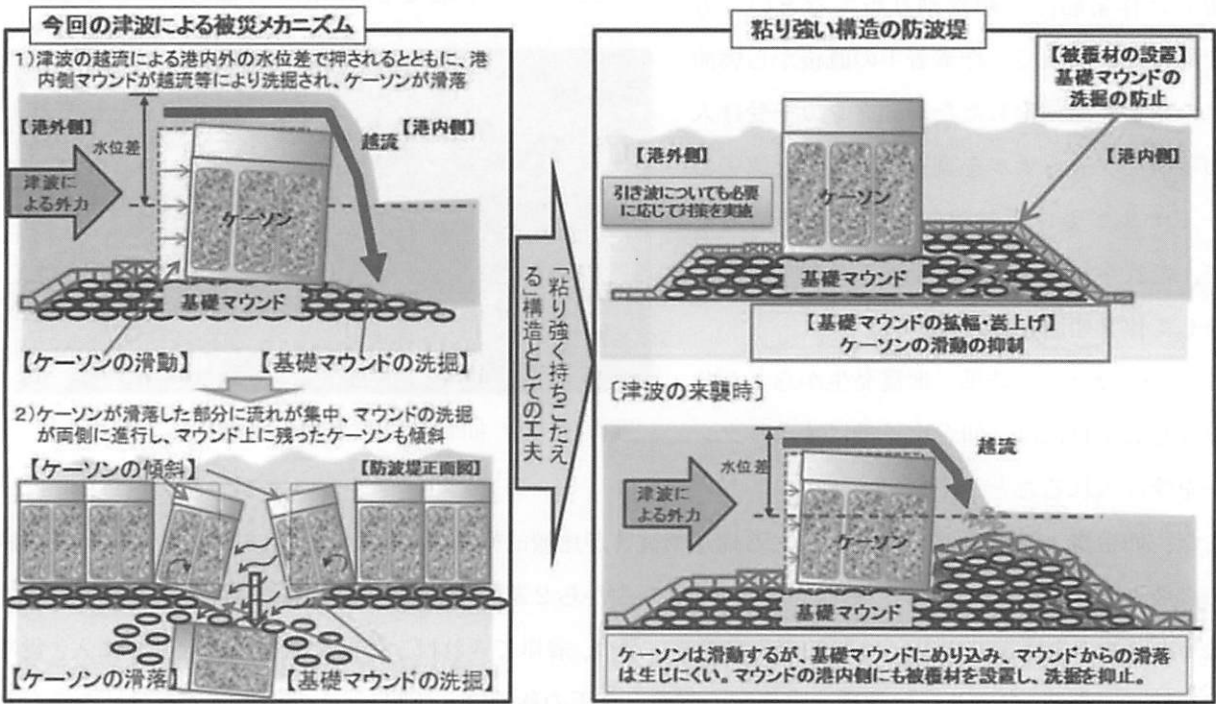


図-3 粘り強い防波堤のイメージ（国土交通省港湾局資料）

7-2 緊急航路啓開に関する国の役割の明確化

日本の港湾制度は、港湾の維持、運営、管理を基本的には港湾管理者である地方自治体に委ねている。このため、災害時の航路啓開についても基本的には港湾管理者の役割であると考えられてきた。しかし、東日本大震災では港湾管理者に先んじて航路啓開に着手した。その結果、広域災害における対応資源の配分を適正に行うことにより、円滑かつ迅速な港湾機能の回復に貢献することが出来た。

このような実績を踏まえて、港湾法が改正され航路啓開における国の役割の明確化や協議会設置などが制度化された。

表-1 港湾法改正の概要	
1)	緊急確保航路の指定
2)	船舶待避用の泊地の指定および開発・保全
3)	港湾施設の適切な維持管理
4)	港湾広域防災協議会の設置

7-3 重要港湾における港湾BCP策定

2001年の米国同時多発テロの際に、その有効性が確認されたBCP（企業の業務維持計画）の考え方を港湾の災害時にも適用することについて検討が進められてきたが、国土強靱化計画において「すべての重要港湾における港湾BCPの策定」が掲げられた。

8. 今後の課題

以上、東日本大震災での港湾災害の概要と、その後の防災政策の動きを概説した。これらにより、少なくとも津波時の漂流瓦礫等への対応は迅速化するであろうし、防災協議会の設置や港湾BCPの策定によって事後の対応は、より以上に円滑化、的確化するはずである。

一方、厳しい財政状況も踏まえて、「減災」という言葉を用いてソフト面の対応の有効性が強調されるが、先に述べたように防波堤や岸壁の基本構造が被災した場合には、その復旧に多大な時間を要することには変わりはない。

そういった意味では、従来から進めてきた耐震バース整備を含めた地震災害対策についても着実に進める必要が有る。

また、大災害でとく言われる「想定外」に陥らないためには、BCPにも通じる結果事象に着目した脆弱性の評価を今以上に重視するべきであると考えられる。

すなわち、結果としての被害は財産の損失か人的な被害であり、災害外力が無限大になったとしても、結果としての被害率は100パーセントを上限值とする有限な値にしかない。

とすれば、有限な範囲の結果事象への対応を考えることにより、想定外の事態は生じ得ないことになる。

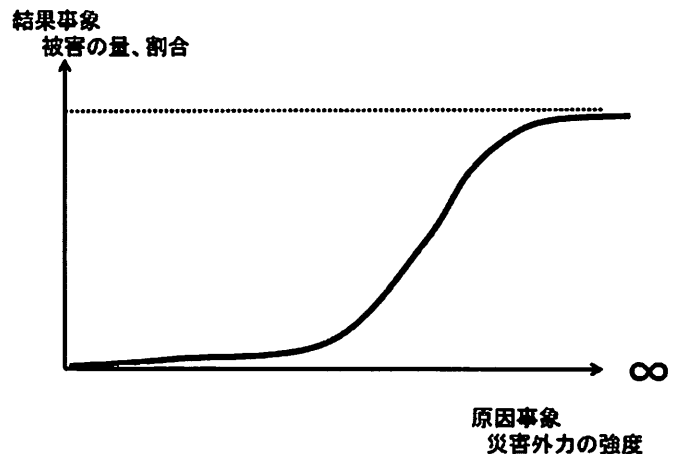


図-4 原因事象と結果事象の関係図