

建設工事契約における遅延分析手法のための 遅延概念整理

大西正光¹・Alena Vasilyevalyulina²・小林潔司³

¹正会員 博士(工学) 京都大学大学院助教 工学研究科都市社会学専攻(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)
E-mail: onishi.masamitsu.7e@kyoto-u.ac.jp

²非会員 博士(工学) 京都大学大学院博士課程 工学研究科都市社会学専攻(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)
E-mail: vasilyevalyulina.alena.85u@st.kyoto-u.ac.jp

³フェロー会員 工博 京都大学大学院経営管理研究部(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail: kobayashi.kiyoshi.6n@kyoto-u.ac.jp

建設工事において、契約で取り決められた完成期日までに工事が完成しない遅延リスクがしばしば生じる。遅延した日数のうち、請負者および発注者がどれだけの日数に対して責任を負うべきかを定める方法を遅延分析手法と呼ぶ。遅延分析手法は、さまざま提案されており、一般的に広く認められた正当性をもった手法は、存在していない。本研究では、遅延分析手法を巡る論争の中で、各手法の正当性を評価するための評価軸を定義するための基礎的考察を行う。具体的には、各手法によって「遅延」という概念を分析するためのシステム上で定義する仕方が異なることを指摘し、その相違を明示的に理解するための枠組みを構築することを目的とする。

Key Words : construction contract, delay analysis

1. はじめに

建設工事の施工条件は、自然環境の影響を受けやすく、工程計画も極めて複雑であるため、しばしば事前に想定できない偶発的事象が生じる。建設工事では、偶発的事象が生じた結果、事業期間が契約で定められた完成期日を超えるという工期遅延リスク²⁾が存在する。英国の会計検査院 NAO (National Audit Office) によれば、政府関係機関によって実施された事業の 70% に遅延による超過費用が発生している³⁾。工期遅延が生じた場合、工事が完成期日までに間に合わない場合に生じる損失を、いずれの契約主体が負担すべきかという超過費用の帰属問題が発生する。工期遅延による損失補填をめぐり、建設紛争が発生した場合、遅延した日数のうち、何日間を正当な遅延として受注者に工期延長を認め、その一方で、何日間が受注者によって生じた遅延として位置づけ、受注者が発注者に対して約定損害賠償 (liquidated damage) の支払いを求めるべきかを、最終的に決定しなければならない。

原則として、工期遅延リスクは、その原因を生み出した契約主体が負担すべきである。しかし、建設工事においては、発注者、受注者のいずれか、もしくは双方が工事遅延による超過費用を負担することが必要となる。しかし、建設工事において、発注者と受注者のそれぞれがリスク分担を行うべき複数のアクティビティに遅延が生じたとしても、アクティビティ全体がネット

ワーク構造を持つために、最終的なプロジェクトの遅延を個々のアクティビティにおける遅延の単純和として表現することができない。したがって、個々の遅延イベントが最終的な工程遅延に及ぼした影響を特定化し、プロジェクト遅延により発生した損失を発注者と受注者の双方に配分することが必要となる。

国際建設事業において、請負者の責任に因らない事象により、約束した期日までに工事を完了できない場合、請負者は工期の延長 (extension of time; 以下, EOT) を要求することができる。EOT は、遅延費用分析 (Delay Cost Analysis) により算定される。遅延費用分析はプロジェクト期間に発生した複数の遅延イベントが、プロジェクト全体の遅延に及ぼした影響を分析することを目的とするが、記録データの有無などの実務的な状況に応じて、さまざまな手法が開発されている¹⁾。しかし、現行の遅延費用分析の方法は、経験的に発達してきたものであり、数学モデルとして厳密に表現されたものではない。そのために、遅延費用分析を実施する担当者により手法の解釈が異なることがあり、遅延費用分析の適用をめぐって統一した見解が確立しているわけではない。さらに、適用する遅延費用分析の方法により、分析結果は多様に変化する。したがって、分析手法の選択は、契約当事者間リスク分担の結果にかかわる実務上極めて重要な問題である。国際建設契約に関わる当事者間で、遅延費用分析の手法選択に関する経験的な知見は蓄積されているが、各手法の分担

特性に関する理論的な分析はほとんど蓄積されていないのが実情である。

本研究では、実務で一般的に適用される遅延費用分析手法を遅延ゲームとして数学的に表現するとともに、それぞれの分析手法が有する費用分担パターンに関して理論的分析を試みる。国際建設契約の実務においては、さまざまな遅延費用分析の方法が提案されているが、本研究では、初期工程計画 (as-planned program) が存在している場合に適用可能である代表的な遅延費用分析の手法である API (as-planned impacted) と APBF (as-planned but for) の2つの手法に着目する。以下、2. では、既存の研究概要と遅延リスクの契約責任に係わる基本的事項を整理し、本研究の基本的な考え方を示す。3. では、実務で用いられている遅延分析手法の解析的枠組みを数学モデルとして表現する。4. では、3. で示したモデルに基づき、各遅延分析手法がもたらす結果に関する特性を比較分析する。

2. 本研究の基本的考え方

(1) 既存の研究概要

国際建設工事の実務においては、頻繁に全体工期の遅延が発生している。工期の遅延から生じる損害額も多額に及ぶことが少なくなく、遅延リスクは建設工事の契約管理において無視することはできない。さらに、工期遅延により発生する損失の帰属を巡って、発注者と受注者の間で建設紛争が発生する場合が少なくなく、各アクティビティの遅延と全体工期の遅延との間の因果関係を検証するために遅延費用分析の方法論が開発された。建設工事の遅延に関する研究事例もいくつか存在する。初期の研究においては、建設工事において発生する遅延の要因分析や、アクティビティに発生した遅延が全体工期に及ぼす影響を扱った事例分析が行われている^{5)–10)}。建設紛争の解決という実務的な必要性から、各種の遅延費用分析の方法が発達してきた。最近では、工程管理ソフトウェア⁴⁾の国際標準化に伴って、遅延費用分析を支援するための各種の Computerized Delay Claims Analysis (C 遅延分析) システムが開発されている¹¹⁾。

しかし、すべての状況において用いることができる手法は存在しておらず、入手可能な情報、分析時間、Arditi 等¹²⁾は、一般的に用いられる遅延分析手法の特徴を比較し、適切な手法を選択するためのガイドラインを示している。しかしながら、これらのソフトウェアは経験的な遅延費用分析の方法をプログラム化したものであり、遅延費用分析の数学的特性について理論的に検討したものではない。さらに、遅延費用分析のための方法が乱立しており、ともすれば建設契約においてア

ドックに遅延費用分析の方法が選択されているのが実情である。各遅延費用分析の特性について検討した研究は存在するものの、事例分析にとどまっており、そこから一般的な結論を導くことは不可能である。遅延費用分析の特性を相互比較するためには、まず、1) 経験的に発展してきたそれぞれの遅延費用分析の方法を数学モデルとして記述することが必要である。さらに、2) 異なる遅延費用分析を包括するような総合的な解析的枠組みを開発するとともに、3) 統一した解析的枠組みの中で、それぞれの遅延費用分析の方法をその特殊ケースとして位置づけ、各手法による遅延費用の配分特性を比較することが必要となる。

(2) 遅延リスクの契約責任

国際建設プロジェクト契約約款である FIDIC Red Book 1999 年版¹³⁾では、8.4 条において完成期限の遵守に影響を及ぼすような事態が生じた場合で、かつ

- 変更、もしくは契約に含まれる工事項目の大幅な数量変化がある場合、
- 本条件書に関わる副条項に基づき、期間の延長の権利を有する遅延理由がある場合、
- 例外的な異常気象、
- 伝染病もしくは行政施策の変更に起因する予見不可能な要因もしくは物資の不足、または
- 発注者、発注者の要因もしくは現場における発注者のその他の請負業者に起因するすべての遅延、妨害もしくは予防行為が発生した場合、

受注者は完成期限を延長 (Extention of Time; 以下 EOT) する権利を有していると定められている。一方、受注者が上記以外の理由により工事完成期限に従うことができない場合、不履行による遅延損害額を発注者に支払わなければならない。すなわち、FIDIC 8.7 条において、「遅延損害額は、入札付属書類により算定される合計額とし、関連する完成期限から引き渡し証明書に定められた日までの全日数に対して支払われるものとする。ただし、本副条項に基づく総額は、入札付属書類に定める遅延損害額の上限 (ある場合) を上回ることはないものとする」と定められている。

建設プロジェクトに遅延が生じた場合、遅延の原因となったイベントを特定化し、遅延リスクの契約上の責任を確定させることが必要となる。同 8.4 条によれば、発注者の責、あるいは不可抗力のように契約当事者が制御することができない理由により、完成期限の遵守が困難になる場合には、受注者が完成期限を延長する権利を有すると規定している。受注者の責任に帰属しない遅延要因は、'excusable' (言い訳可能) な遅延要因と呼ばれる。一方、同 8.7 条によれば、受注者の責任に帰属する遅延要因は 'non-excusable' (言い訳不可

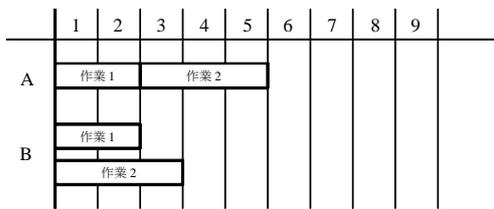


図-1 初期工程計画（例）

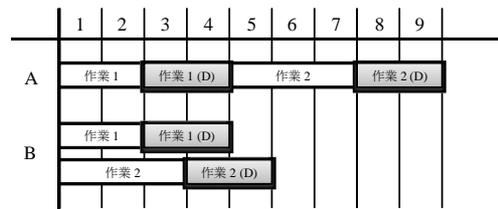


図-2 遅延事象を付加した工程計画（例）

能)な遅延要因と呼ばれる^{11),14)}。'non-excusable'な遅延要因によって完成期限が遵守できない場合には、あらかじめ契約に規定されている約定損害賠償を支払わなければならない。

プロジェクトの工程ネットワークが単純であり、最終的な工期の遅延が、誰の責任で生じたのかを明確に定義することができれば、遅延損失額の帰属を決定することはそれほど難しくはない。しかし、現実の建設工事の工程ネットワークは、多くの並行的アクティビティが同時に進行したり、アクティビティの先行、後行関係が複雑なネットワーク構造を有している。このため、異なる当事者の責に起因する複数のアクティビティ遅延が原因となり、最終的な工期の遅延が生じた場合、最終的な工期の遅延が誰の責任であり、受注者がどれだけの工期延長の権利を有するのかといった問題に答えることは、それほど容易ではない。また、遅延は、ただ1つの原因によって生じるというよりも、むしろ複合的な要因によって生じる場合の方が多い。したがって、工事遅延の責任の確定をめぐる、契約当事者間で契約紛争が発生することとなる。国際建設プロジェクト契約の実務では、工事遅延をめぐる建設契約紛争が発生した場合、仲裁廷により中立的な立場から遅延費用分析の結果に基づいてプロジェクト遅延における責任の帰属関係が判断される。遅延費用分析の目的は、1) プロジェクトにおけるさまざまなアクティビティによって生じた遅延が他のアクティビティ及び最終的なプロジェクトの完成に及ぼす影響や、2) 契約当事者の責任による工事遅延が最終的な工期遅延に及ぼす影響を決定することにある¹¹⁾。すでに、言及したように、工期遅延に関する建設紛争解決において、各種の遅延費用分析モデルが適用されているが、現行の遅延費用分析モデルは、経験的に発展してきたものであり、同一の遅延費用分析モデルであっても適用者によりモデルの内容や解釈に違いがあり、その結果としてあらたな紛争に発展する可能性も存在しうる。

(3) 遅延分析の複雑性

遅延費用分析の方法により、分析結果に差異が生じる理由を明らかにするため、図-1のように、2つのア

クティビティで構成される行程計画をとりあげる。工程計画 A は、2つのアクティビティが直列に配置されているのに対して、工程計画 B では、並行アクティビティが存在している。当初計画では、アクティビティ1は2日で完了し、アクティビティ2は3日で完了すると仮定する。実際には、アクティビティ1が予定よりも2日遅れて完了し、アクティビティ2も予定よりも2日遅れて完了した場合を考える。工程計画 A では、明らかに全体の工期遅延は、2つのアクティビティの遅延日数を単純に足しあわせた4日となる。一方、工程計画 B では、当初の予定計画では、全体の工期は3日であったのが、5日に延長となり、遅延日数は2日となる。このように、並行アクティビティが存在する工程計画では、全体の工期遅延日数は各アクティビティの遅延日数の単純な加法和とは一致しない。

いま、工程計画に含まれるアクティビティ i で生じた遅延日数を x_i と表すと、一般的に、工期全体の遅延日数 $D(x_1, \dots, x_i, \dots, x_I)$ は劣加法性条件

$$D(x_1, \dots, x_i, \dots, x_I) \leq \sum_{i=1}^I x_i \quad (1)$$

を満足する。劣加法性条件(1)が不等号で成立する場合には、各アクティビティで生じた遅延の総和が、最終的な工期の遅延に一致しないため、各アクティビティの遅延が全体工期の遅延に及ぼした影響を決定することが必要となる。

劣加法性の性質は、フロートの存在に起因する。工程の中のあるアクティビティが、想定よりも長い時間を要したとしよう。このアクティビティの完了の遅延が、最終的な工期の遅延につながるとは限らない。並行する他のアクティビティが完了しないと、次のアクティビティに取りかけられない場合には、仮にあるアクティビティが遅延したとしても、他のアクティビティの完了時点までに、完了する限りにおいて、最終的な工期に影響を及ぼさない。あるアクティビティが全体工期に影響を及ぼさない範囲の余裕日数をトータルフロートと呼ぶ。トータルフロートがゼロであるアクティビティで構成される経路をクリティカルパスと呼ぶ。あるアクティビティが、請負者の責任による事象により遅延したとしても、フロートの範囲内の遅延であれば、工

期に影響がない。一方、発注者責任の事象により、あるアクティビティの完了が遅延したとしても、フロートの範囲内であれば工期に影響がないため、EOTは認められない。

請負者の責任に因る遅延事象と発注者負担の遅延事象が同時に発生した場合には、問題は複雑となる。建設法学会（society of construction law）は、同時発生遅延（concurrent delay）に係わるルールとして、以下のような原則を提示している。

1) 契約において、相矛盾する取り決めがない限りにおいて、発注者責任の遅延事象が生じた場合、発注者責任の遅延事象によって、当該アクティビティのトータルフロートが、ゼロ以下になる場合にのみ EOT が与えられる（Guidance Section 1.3.1）。

2) 請負者責任の遅延事象が、発注者責任の遅延事象と同時に生じたとしても、そのために、発注者責任の遅延事象に対する EOT が控除されるべきではない（Guidance Section 1.4.1 and 1.4.7）。

図-1 に示す工程計画 B の場合、適用する遅延費用分析モデルにより、遅延費用の配分結果が異なる。いま、アクティビティ1 で生じた遅延事象がアクティビティ2 で生じた遅延事象よりも、時間的に先行して発生した場合を考えよう。以上の設定の下で、API（As Planned Impacted）と呼ばれる手法を用いて工期遅延の配分を確定する問題を考える。アクティビティ2 の遅延が生じる前の段階では、当初の予定工期は3日である。アクティビティ1 で2日の遅延が生じれば、工期は4日となり、アクティビティ1 がもたらした工期遅延は、1日と判断できる。この段階で予定工期は4日に更新される。次に、アクティビティ2 で2日の遅延が生じれば、工期は5日となり、アクティビティ2 がもたらした工期遅延は、1日と判断される。したがって、アクティビティ1 で生じた遅延事象の影響は1日、アクティビティ2 で生じた遅延事象の影響は1日となる。一方、アクティビティ1 で生じた遅延事象がアクティビティ2 で生じた遅延事象よりも、後に発生した場合を考えよう。このとき、アクティビティ1 で生じた遅延事象の影響は0日、アクティビティ2 で生じた遅延事象の影響は2日となる。

一方、APBF（As Planned But For）と呼ばれる手法をとりあげる。アクティビティ1 の遅延事象の責任が受注者にあり、アクティビティ2 の責任が発注者にある場合を考える。APBF では、受注者が責任を有する工期遅延の日数を決定するために、当初の工程計画に、受注者の責任による遅延事象のみを加える。このとき、アクティビティ1 による遅延のみが生じた場合、工期は4日となる。したがって、請負者の責任となる遅延日数は1日である。一方、発注者の責任日数は、当初計画にアクティビティ2 の遅延を加えると、工期が5日とな

るため、発注者の責任となる遅延日数は、2日となる。以上の簡単な例でも明らかのように、適用する遅延費用分析モデルの違いにより、契約主体の間での遅延日数の責任配分が異なる。

劣加法性に起因して、以上のように、各アクティビティの遅延が工期全体の遅延に及ぼす影響に関する定義は、分析手法によって異なる。遅延費用の配分は、遅延事象が生じた後では、契約当事者間の所得移転の問題に過ぎない。したがって、社会的厚生観点から望ましい分析手法を一意に決定することができない。遅延費用分析手法の選択に関する適切性を問うためには、分析手法は遅延事象が生じた事後ではなく、工事を実施する前の段階に両者間で合意されるという前提が必要である。FIDIC の EOT 条項でも、一般的な考え方しか示されておらず、実際の事業で生じる遅延配分問題に一意的な解決策を与えてくれることはない。また、事象を開始する前に遅延分析手法について、契約当事者間で事前に合意する慣習も存在していない。

(4) 遅延分析手法の適切性基準

多様な遅延分析手法が提案されている中でも、比較的裁判所が受け入れる傾向にある手法と、そうでない手法が存在する。あらかじめ、契約当事者が採用する遅延分析手法について合意しておくことにより、事後において、少なくともいずれの手法で分析した結果が望ましいかという妥当性に関して、対立が生じることは回避できる。しかし、FIDIC のような契約約款でさえ、EOT を認める基準はあまりにも一般的であり、上述のような複雑性を取り扱える程のルールを定めているわけではない。さらに、建設産業の慣習として、あらかじめ採用する遅延分析手法について契約当事者で合意することはない¹⁵⁾。用いる遅延分析手法に関する事前の合意がない場合、用いる手法によって分析結果が異なるため、契約当事者が望む手法について対立関係が生じる。遅延分析手法は、契約当事者間のリスク負担を確定するためのプロトコルである。

以下、事前の段階に契約当事者が事後的に採用する分析手法に関して合意するという前提で議論を進める。分析手法の決定は、契約当事者間でのリスクの負担の相対的な量を規定する。この際、両契約当事者にとって望ましい分析手法は、次のような性質を満たす必要がある。

- 公平性基準- 契約当事者が発注者、請負者という立場がすでに分かっている状態において、仮に立場が入れ替わったとしても、その手法の適用に合意できる。
- 効率性基準- 契約当事者のリスク負担能力は異なる。分析手法の選択は、契約当事者間でのリスク負

担の配分を規定する。リスク負担能力の高い契約主体が、相対的にリスクを負担する結果を導く分析手法が望ましい。

遅延費用分析の手法の選択により、事前の段階から、分析手法の特性上、いずれの契約当事者にとって有利となる可能性がある。しかし、実務で用いられている分析手法が有する特性について、経験的ではなく、理論的に分析した研究は、これまでに存在していない。各分析手法の特性を明らかにすることにより、望ましい遅延費用分析の手法選択問題に関する知見の導出を試みる。

(5) 手法の分類

Farrow¹⁵⁾は、これまでに開発されてきた遅延分析手法を分類し、それぞれの手法の特徴を明らかにしている。実務で用いられる遅延分析手法にはバリエーションが存在するが、大きく分けて、資格に基づく方法 (entitlement-based methods; 以下 EB 法) と実際の記録に基づく方法 (actual-based methods; 以下 AB 法) の 2 つに分類できる²⁾。EB 法では、プロジェクト工程のベースラインとなるモデルを確定する。ベースラインとなる工程プログラムとして、初期工程計画を用いる場合と実施工程プログラムが用いられる場合がある。ベースラインとなる工程プログラムを遅延事象を付加したり、差し引くことにより、逐次、工程プログラムを更新する。更新されたプログラムと更新される前のプログラムを比較した結果を各遅延事象が工事全体の工期に与える影響と定義する。したがって、逐次更新されたプログラムは、あくまでも理論的に導かれた工程プログラムであり、実際のプログラムとは乖離する。一方、AB 法は実際に履行された実施工程と予定していた工程プログラムの両方を用いて、まず工事全体の工期遅延を定義した後、生じた工期の遅延が、いずれの事象によって引き起こされたのかを評価する手法である。AB 法が、予定プログラムと実際のプログラムを逐次、照合しながら、遅延事象の影響を分析するという意味で、より厳密な分析手法である。また、EB 法には問題点も指摘されている。ベースラインとなる初期工程計画が非現実的なことも少なくなく、実際には、初期の計画とは異なる工程でプロジェクトが進行することがある。さらに、EB 法では、実施工程を用いないために、EB 法で分析した遅延が、実際の遅延と一致する保証はない。以上の 2 点において、紛争の場合には、裁判官や仲裁人によって批判の対象となりやすい。

本研究では、EB 法を対象として議論する。EB 法は、あくまでも理論的な分析手法であるために、現実の因果関係を反映していないという意味において説得力が弱い分析手法である。実際に、裁判所では、EB 法より

も AB 法による分析結果が好まれる傾向がある。しかし、実務的には、AB 法は EB 法より、契約当事者により多くの記録を残しておくことを要求する。記録を残す作業には費用がかかる。対象となる工事の規模にも依存して、必ずしも詳細な情報を必要とする AB 法を適用することが、費用対効果という観点から、望ましくない可能性もある。すなわち、EB 法に分類される手法群の中から、適用手法を選択するのが望ましい場合も少なくない。本研究では、EB 法の手法群を対象として、各手法の特性について、理論的に明らかにし、それぞれの手法の望ましさに関して整理することを目的とする。

3. 遅延配分問題

(1) 初期工程計画の形式的表現

初期工程計画 (as-planned program: APP と略す) Γ^0 を以下のように形式的に表現する。 Γ^0 は時間的順序関係が規定されたアクティビティの集合 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ によって構成される。APP Γ^0 に含まれるアクティビティ $i \in N$ の開始時刻を s_i^0 、終了時刻を f_i^0 と表す。アクティビティ i の先行アクティビティの集合を $\{-I\}$ 、後続アクティビティの集合を $\{+I\}$ と表す。また、アクティビティ i に最も近接する先行アクティビティ $-i$ を $-i = \arg \max\{f_j^0; j \in \{-I\}\}$ と、アクティビティ i に最も近接する後続アクティビティ $+i$ を $+i^0 = \arg \min\{s_j^0; j \in \{+I\}\}$ と定義する。記号 \arg は、該当する要素 i, j を指示する記号である。工事の予定開始時刻 S^0 は、 $S^0 = \min\{s_i^0; i \in N\}$ 、工事の予定終了時刻 E^0 は、 $E^0 = \max\{f_i^0; i \in N\}$ と表される。また、予定工期 θ^0 は、 $\theta^0 = E^0 - S^0$ と表される。一方、完工時工程 (as-build program: ABP と略す) Γ^* も、APP Γ^0 と同様にアクティビティ集合 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ で構成され、アクティビティ i の実際の開始時刻を s_i^* 、終了時刻を f_i^* と表す。実際の工事開始時刻 S^* は、 $S^* = \min\{s_i^*; i \in N\}$ で定義され、実際の工事終了時刻 E^* は $E^* = \max\{f_i^*; i \in N\}$ で定義される。以上の情報に基づき、遅延 D は、 $D = E^* - E^0$ と定義される。

遅延の要因となる事象 (遅延事象) の集合を $\Omega = \{\omega^1, \omega^2, \dots, \omega^k, \dots, \omega^K\}$ と表す。各遅延事象は 1 つのアクティビティのみについて遅延を引き起こすと考えられる。ただし、1 つのアクティビティに、複数の遅延事象が発生する可能性は存在する。遅延事象 ω^k によりアクティビティ i に発生する遅延は、時刻 b_i^k に遅延が開始し、 e_i^k に終了する。遅延事象の添字 k は、発生する時間的順序によって定義され、 $b_i^k < b_i^{k+1}$ が成立する。遅延事象 ω^k によるアクティビティ i の遅延開始時刻 b_i^k 、及び終了時刻 e_i^k が、観察可能 (observable) かつ立証可能

(verifiable) であると仮定する．遅延事象 k によるアクティビティ i の遅延の長さ d_i^k は, $d_i^k = e_i^k - b_i^k$ と表される．仮定より, 任意の遅延事象 ω^k について $d_i^k > 0$ が成立するとき, アクティビティ i 以外のアクティビティ $j \neq i$ について $d_j^k = 0$ が成立する．

(2) API (As-Planned Impacted) 手法

API 手法では, APPT⁰ に対して, 遅延事象 ω^k ($k = 1, \dots, K$) の発生時刻順に逐次アクティビティの遅延を付加し, 工程計画を更新していく．いま, 遅延事象 ω^{k-1} まで加えて更新された工程計画 Γ^{k-1} に遅延事象 ω^k を加えて新たに Γ^k を更新する．工程計画 Γ^k における任意のアクティビティ i の開始時刻 s_i^k は

$$s_i^k = s_i^{k-1} + (f_{-i}^k - s_i^{k-1})_+ \quad (2)$$

により更新される．ここで, s_i^k は, 更新された工程計画 Γ^k におけるアクティビティ i の開始時刻を表し, s_i^{k-1} は Γ^{k-1} におけるアクティビティ i の開始時刻を表す．ただし, $k = 1$ のとき, $s_i^{k-1} = s_i^0$ である．また, f_{-i}^k は, Γ^k におけるアクティビティ i の先行アクティビティ $-i$ の終了時刻を表す．なお, $(x)_+ = \max\{x, 0\}$ である． $(f_{-i}^k - s_i^{k-1})_+$ は遅延事象 ω^k が, 先行アクティビティの遅延を通じて, アクティビティ i の開始時刻に対してもたらした遅延の長さを表す．また, 終了時刻 f_{-i}^k は,

$$f_{-i}^k = s_{-i}^k + d_{-i}^k + (f_{-i}^{k-1} - s_{-i}^{k-1}) \quad (3)$$

と更新される．ここで, f_{-i}^k は, 更新された工程計画 Γ^k におけるアクティビティ i の終了時刻を表す．また, $(f_{-i}^{k-1} - s_{-i}^{k-1})$ は, 遅延事象 ω^{k-1} までの影響を加えた工程計画 Γ^{k-1} におけるアクティビティ i の所要時間を表す．ただし, $k = 1$ のとき, $s_{-i}^{k-1} = s_{-i}^0$ 及び $f_{-i}^{k-1} = f_{-i}^0$ である．ここで, 各遅延事象を付加することによる工事全体の工期遅延 D^k は,

$$D^k = (E^k - E^{k-1}) \quad (4)$$

と定義される．ただし, $E^k = \max\{f_i^k; i \in N\}$ は工程計画 Γ^k における工事の完了時刻, $E^{k-1} = \max\{f_i^{k-1}; i \in N\}$ は工程計画 Γ^{k-1} における工事の完了時刻を表す．ただし, $k = 1$ の場合, $f_i^{k-1} = f_i^0$, したがって $E^{k-1} = E^0$ が成立する．

遅延配分問題は, 実際に生じた自然状態 $\Omega = (\omega_1, \dots, \omega_K)$ の下で, 契約当事者間に工期遅延の責任を割り当てる問題である．前述したように, すべての遅延事象は, 言い訳可能な事象と言い訳不可能な事象のいずれかに分類することができる．言い訳可能な遅延事象の集合を $\Omega_P \subset \Omega$, 言い訳不可能な遅延事象の集合を $\Omega_C \subset \Omega$ と表す．ただし, $\Omega_P \cap \Omega_C = \phi$ かつ $\Omega_P \cup \Omega_C = \Omega$ である．この時, 遅延問題 (Γ^0, Ω) は遅延事象の分割 $\Omega = \{\Omega_C, \Omega_P\}$ と, 遅延配分ルール f に従って生じる各アクティビティの遅延 q_i^j , 最終的な全体工期

の遅延 D によって定義できる．ただし, 遅延配分ルール f とは, 各遅延事象ごとに工期遅延量と工期遅延の責任帰属先を決定し, それを言い訳可能な工期遅延 f_P と言い訳不可能な工期遅延 f_C として集約する遅延割り当てルールを意味する．当然のことながら, 集計化された工期遅延 f_P, f_C の間には $f_P + f_C = D$ が成立する．API では, 受注者に認められる工期延長 (extension of time) f_C , 及び発注者側が約定損害賠償を請求可能な遅延期間 f_P は, それぞれ

$$f_C = \sum_{k:\omega^k \in \Omega_C} D^k, f_P = \sum_{k:\omega^k \in \Omega_P} D^k \quad (5)$$

と定義される．

(3) APBF (As-Planned But For)

APBF は, API と同様に, 初期工程計画 Γ^0 に対して, 逐次遅延事象を付加することにより工程計画を更新し, 最終的に得られた完成工程計画と APP の差異に基づいて各アクティビティの遅延を定義する．しかし, API とは異なり, いずれかの契約主体の責任により発生した遅延事象のみを付加する．すなわち, 言い訳不可能な遅延は, 受注者の責任により生じた遅延事象のみを APP に付加した工程計画を計算することにより得られる．集合 Ω_C に含まれる遅延事象を便宜的に ω_C^k と表記する．添字 k は, 集合 Ω_C に含まれる遅延事象の発生時間順序を表している． Γ^0 に対して, 部分集合 Ω_C に含まれる遅延事象のみを付加することにより作成した完成工程を Γ_C^k と表そう．工程計画の更新に際して, 各アクティビティの開始時間と終了時間は, 式 (2) 及び式 (3) を用いて更新される．以上の更新プロセスを, 部分集合 Ω_C に含まれる遅延事象すべてを付加するまで行う． $\#\Omega_C = K_C$ とする．すべての Ω_C に含まれるすべての遅延事象が付加された工程計画 $\Gamma_C^{K_C}$ の完了時刻を $E_C^{K_C}$ と表す．APBF の下では, 発注者側が約定損害賠償を請求可能な遅延期間 f_P は,

$$f_P = E_C^{K_C} - E^0 \quad (6)$$

と表される．また, 請負者に認められる工期延長は,

$$f_C = D - f_P \quad (7)$$

である．ここで, f_P は, もし発注者による責任の遅延事象がなければ, 請負者が生じさせてたであろう工期遅延期間を表している．

以上の分析では, 初期工程計画に, 言い訳不可能な遅延事象のみを付加する場合を示した．これに対して, 言い訳可能な遅延事象のみを付加する方法もあり得る．いずれの遅延事象を付加するかによって, 分析結果は大きく異なりうる．この点については, 次の 4. において, 詳細に分析する．

4. 比較分析

(1) 遅延事象による影響の連鎖メカニズム

遅延事象が工期全体及び他のアクティビティの作業工程に与える影響は、その事象が生じたアクティビティが有するフリーフロート (free float) 及びトータルフロート (total float) の長さに依存する。アクティビティ i のフリーフロート FF_i は、後続作業の最早開始時刻に影響を与えない余裕時間と定義される。また、アクティビティ i のトータルフロート TF_i は、全体の工期に影響を与えない余裕時間として定義される。クリティカルパスは、トータルフロートが 0 となるアクティビティにより構成される。個々の遅延事象が与える影響について分析する。

遅延事象は、工程プログラムにおけるただ一つのアクティビティの作業時間を増加させる。3. で示した手法は、遅延事象が発生した時間的順序にしたがい、工程プログラムを更新しながら、各遅延事象の影響を分析する。遅延事象は、アクティビティの開始時刻及び終了時刻に連鎖的に影響を与え、最終的な工期遅延を引き起こす。遅延事象は、その事象が発生したアクティビティだけではなく、それ以外のアクティビティの開始時間及び終了時間にも影響を与える。その結果、その後生じた遅延事象がもたらす影響は、それ以前の遅延事象が生じていない工程プログラム上とそれと、生じてしまった後の工程プログラム上のそれとでは異なる可能性がある。API と APBF の間の分析結果の相違は、初期工程 Γ^0 から遅延事象を付加していく順番の定義の違いから生じる。すなわち、API は、言い訳可能な遅延事象と言い訳不可能な遅延事象を区別せず、発生した順序に従ってプログラムを更新する。一方、APBF は、言い訳可能、あるいは言い訳不可能な遅延事象のいずれか一方のみを対象として、発生した順序を定義し、プログラムに付加していく。

1) クリティカルパス上のアクティビティで遅延事象が生じた場合 (ケース 1)、2) 非クリティカルパス上のアクティビティで遅延事象が生じた場合 (ケース 2) の 2 つの場合を考える。

あるアクティビティ i の後続作業と後続作業の後続作業、さらにその後続作業…と連鎖する作業をアクティビティ i の連鎖後続作業と定義する。連鎖後続作業は、遅延事象が発生した期間だけ、すべて開始時間が遅延する。連鎖後続作業で構成されるネットワークに関しては、すべてが同一の影響を受けるために、ネットワークの構造は変化しない。一方、連鎖後続作業以外のすべてのアクティビティに対しては、フロート長が増加する。遅延事象 ω^{k_0} 以降に発生する遅延事象が、工期に与える影響は、その遅延事象が生じるアクティビティ

が有するフロートの長さに依存する。遅延事象が最終的な工期に影響を与えるためには、1) 遅延が生じたアクティビティがクリティカルパス上に存在する、あるいは 2) 遅延事象が発生した結果、アクティビティがクリティカルパスになったか、いずれの場合である。いずれの場合も、遅延事象を付加した工程プログラムにおいて、当該アクティビティがクリティカルパス上に存在しなければならない。

(2) As-Planned Program を用いる手法の比較

3. では、各遅延分析の手法の解析的枠組みを示すための数学モデルを定式化した。次に、分析手法の特性から生じる分析結果の偏りに関する比較分析を行う。比較分析の意義は、ある遅延分析手法がもたらす結果が、いずれの契約主体にとって有利、あるいは不利となるのかについて、事前の段階からあらかじめ知ることが可能となる点である。

API と APBF は、いずれも初期工程計画をベースラインとして、遅延事象を付加しながら工程プログラムを更新するという点では共通している。一方、API は、言い訳可能な遅延事象と言い訳不可能な遅延事象の両者を、定義づけられた時間的順序にしたがって付加するのに対して、APBF では、いずれか一方の事象のみが付加されるという点においてのみ異なる。仮に、すべての遅延事象が言い訳不可能であるといったように、いずれか一方のタイプの遅延事象のみであれば、API と APBF から得られる結果は同一でなければならない。したがって、ある遅延事象の影響が、他のタイプの遅延事象に関する考慮の有無によって、どのように影響を受けるかが分析の焦点となる。劣加法性の定義から、遅延事象の遅延日数以上に、工期全体に遅延をもたらすことにならない。したがって、示すべき命題は、「言い訳不可能な遅延事象のみを考慮した場合をベースラインとして、言い訳可能な遅延事象を考慮した際に、言い訳不可能な遅延事象がもたらす影響は緩和する方向に働くのか、促進する報告に働くのか?」となる。

劣加法性の性質は、フロートの存在に起因する。アクティビティのフロートがゼロのとき、そのアクティビティに生じた遅延は、そのまま工事全体の遅延となる。しかし、アクティビティにフロートが存在する場合には、フロートの長さを上限として、アクティビティの遅延は、工事全体の工期に影響を与えない。このことから、請負者が負担すべき工期遅延費用を決定する際に、APBF(C) (すなわち、言い訳可能な遅延事象を考慮しない方法) による請負者の負担は、API を用いた場合と比較して、必ず大きくなる。

API の問題点として、あらかじめ生じた順に付加していくという時間的順序関係のルールが指摘されるこ

とがある。しかし、時間的順序関係については、いずれの契約主体も、事前の段階では、いずれの遅延事象が先に生じるかどうかは、無知のペールの下では無差別である。一方、APBF では、言い訳不可能な遅延事象か言い訳可能な遅延事象のいずれの遅延事象を対象として分析を行うかによって、明らかに一方の契約当事者にとって有利、不利が生じる。したがって、API は APBF と比較して、偏りが小さい手法である。

5. おわりに

本研究では、建設工事の遅延リスクの責任を決定するために、さまざまな分析手法が提示されている一方、それらの手法の位置づけが整理されないことに起因する紛争の発生を問題意識として、分析手法の概念整理を試みた。遅延分析が対象とする遅延配分問題を明示的に定義するために、数式を用いた形式的表現の方法を提案した。また、API および APBF を対象として、2つの遅延分析手法が有する特性について明らかにした。

参考文献

- 1) Pickavance, K.: *Delay and Disruption in Construction Contracts*, 3rd Ed., LLP, London, 2005.
- 2) Assaf, S.A. and Al-Hejji: Causes of delay in large construction projects, *International Journal of Project Management*, Vol. 24, No.4, 2006.
- 3) Lowsley, S. and Linnett, C.: *About Time Delay Analysis in Construction*, RICS Books, 2006.
- 4) Feigenbaum, L.: *Construction Scheduling with Primavera Project Planner*, Prentice Hall, 2002.
- 5) Kraiem, Z. and J. Diekmann: Concurrent delays in construction projects, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 113, No. 4, pp. 591-602, 1987.
- 6) Reams, J.: Delay analysis: a systematic approach, *Cost Engineering*, Vol. 31, No. 2, pp. 12-16, 1989.
- 7) Reams, J.: Substantiation and use of planned schedule in a delay analysis, *Cost Engineering*, Vol. 32, No. 2, pp. 12-16, 1990.
- 8) Alkass, S., M. Mazerolle and F. Harris: An integrated system to minimize the cost of analyzing construction claims, *Computing Systems in Engineering*, Vol. 4, No. 2-3, pp. 271-280, 1993.
- 9) Wickwire, J. M., T. J. Driscoll and S. B. Hurlbut: *Construction Scheduling: Preparation Liability, and Claims*, John Wiley and Sons, New York, 1991.
- 10) Ng, S. T., M. Skitmore, M. Z. M. Deng and A. Nadeem: Improving existing delay analysis techniques for the establishment of delay liabilities, *Construction Innovation*, Vol. 4, pp. 3-17, 2004.
- 11) Alkass, S., Mazerolle, M., and Harris, F.: Construction delay analysis techniques, *Construction Management and Economics*, Vol. 14, No. 5, pp. 375-394, 1996.
- 12) Arditi, D. and Pattanakitchamroon, T.: Selecting a delay analysis method in resolving construction claims, *International Journal of Project Management*, Vol. 24, pp. 145-155, 2006.
- 13) Federation Internationale Des Ingenieurs Conseils: *Condition of Contract for Building and Engineering Works Designed by the Employer*, First edition, 1999.
- 14) Kumaraswamy, M. M. and K. Yogeswaran: Substantiation and assessment of claims for extensions of time, *International Journal of Project Management*, Vol. 21, No. 1, pp. 7-38, 2003.
- 15) Farrow, T.: Development in the analysis of extensions of time, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, Vol. 133, No. 3, pp. 218-228, 2007.

(平成 24 年 8 月 8 日 受付)

CONCEPT OF DELAY FOR DELAY ANALYSIS IN CONSTRUCTION CONTRACT

Masamitsu ONISHI, Alena VASILYEVA-LYULINA, Kiyoshi KOBAYASHI

It is often the case that a construction project does not completed before the agreed completion date in the contract. A construction contract generally provides a principle to determine the contractual liability of parties regarding construction delay. However, due to the complexity of construction projects and delay causation, determination of liability is a major source of contractual dispute in reality. With this background, a variety of alternative methods for delay cost analysis have been developed. In this paper, several major delay cost analysis techniques are compared, and it is proved that the Time Impact Analysis is the most ideal technique in theory, although it requires much time and cost for contract administration. The other alternative techniques are regarded as second best options and the practical validity of them are examined.